



TESIS DOCTORAL

LA IDENTIFICACIÓN MÉDICO LEGAL: UTILIDAD DE LOS METATARSIANOS Y LAS VÉRTEBRAS CERVICALES EN LA ESTIMACIÓN DEL SEXO Y LA ESTATURA

Sonia Rodríguez Villar

DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA PATOLÓGICA
Y CIENCIAS FORENSES

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. 2015



El Catedrático de Universidad D. José Ignacio Muñoz Barús

CERTIFICA

Que la presente Tesis Doctoral, “La identificación médico legal: utilidad de los metatarsianos y las vértebras cervicales en la estimación del sexo y estatura” de la Diplomada en Enfermería Sonia Rodríguez Villar, ha sido realizada bajo mi dirección en el Departamento de Anatomía Patológica y Ciencias Forenses, considerándola en condiciones para optar al Grado de Doctora y autorizándola para su presentación ante el Tribunal correspondiente.

Y para que así conste, expido el presente certificado en Santiago de Compostela, a 25 de Septiembre de 2015.

Fdo: Dr. J.I. Muñoz Barús



AGRADECIMIENTOS

A Don José Ignacio Muñoz Barús por su dirección y continua labor al frente de este trabajo.
Y a todos aquellos que me han ayudado, y así se reconocen como coautores de las publicaciones derivadas de esta tesis.





RESUMEN

Ante el hallazgo de un cadáver, en auxilio del procedimiento judicial, desde la Medicina Legal se intentará clarificar cuál ha sido la causa y circunstancias de su muerte. Entre estas últimas se encuentra la identidad del fallecido. Cuando el hallazgo no es un cadáver completo, sino restos cadavéricos, para llegar a la identificación del sujeto uno de los primeros parámetros a determinar es la edad del mismo a partir de sus restos, fundamentalmente óseos. Se intentará determinar si se trata de los restos de un individuo adulto, infantil o infanto-juvenil para, a partir de aquí, poder estimar la estatura, determinar el sexo, además de otra información adicional.

Existen numerosos métodos para la determinación de la edad a partir de restos óseos, alguno utiliza los puntos de osificación de los huesos, otros las características del cráneo o piezas dentarias, además de otros métodos. Los mejores resultados para la estimación de la estatura se han obtenido a partir de diversas dimensiones de los huesos largos. Sin embargo, es más habitual encontrar fragmentos de los mismos o huesos de menor tamaño, como pueden ser los metatarsianos. Además de ser más frecuente su hallazgo, también suelen estar mejor conservados.

Con el ánimo de estimar la estatura en vida, y también determinar el sexo del individuo, a partir de restos óseos, hemos llevado a cabo diversas mediciones en el primer y segundo metatarsiano y las dos primeras vértebras cervicales con el objeto de desarrollar fórmulas de regresión en muestras de población gallega y portuguesa. Para ello hemos utilizado imágenes tomadas con Rx convencional y TC, demostrando las ventajas de éste último para los estudios poblacionales. Hemos desarrollado varias fórmulas aplicando Modelos de Regresión Lineal (LM), Modelos Aditivos (MA) y Modelo Lineal Generalizado (GLM).

Los mejores resultados, en población gallega, fueron obtenidos utilizando la longitud máxima del primer metatarsiano izquierdo (M1) de hombres ($S = 819.88 + 12.79M1$). Con población portuguesa, el mejor resultado fue obtenido con la longitud fisiológica del segundo metatarsiano izquierdo (F2) en caso de sexo indeterminado ($S = 895.4803 + 10.7848F2$). Y en el caso de las vértebras cervicales la mejor correlación fue conseguida para sexo desconocido empleando medidas de las dos primeras vértebras ($S = 49.02 + 1.02O + 1.58DO + 0.49V + 0.67I$). También hemos logrado implementar una fórmula para determinar el sexo a partir de diversas dimensiones de los metatarsianos.

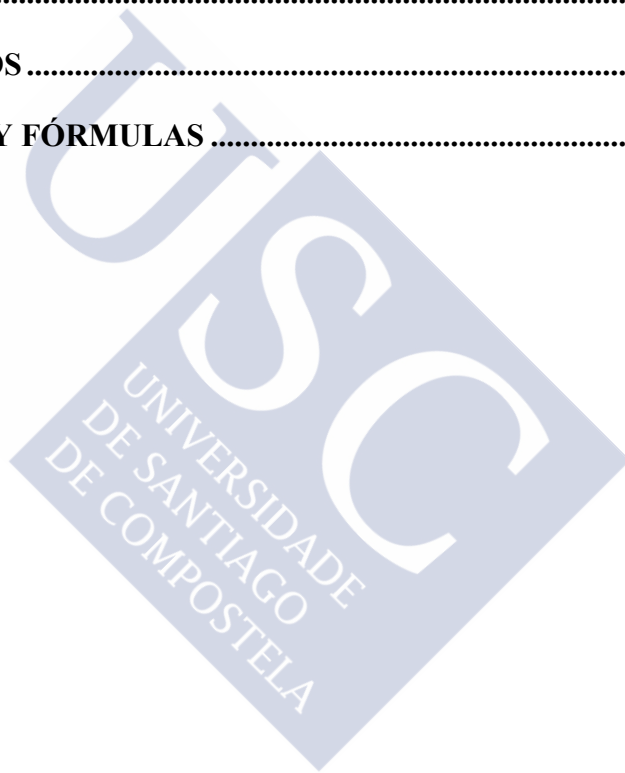
Las fórmulas desarrolladas se deben utilizar según la población de referencia. No obstante, aquéllas pueden ser de utilidad para poblaciones cercanas.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	17
1. RAÍCES HISTÓRICAS: LA MEDICINA LEGAL Y LA ANTROPOLOGÍA EN ESPAÑA	21
1.1. <i>Período clásico</i>	21
1.2. <i>Período moderno</i>	25
2. LEVANTAMIENTO Y EXHUMACIÓN DE LOS RESTOS ÓSEOS	28
2.1. <i>Cuerpo en superficie</i>	29
2.2. <i>Cuerpo inhumado</i>	29
2.3. <i>Datos antropométricos</i>	30
3. INFORME ANTROPOLÓGICO FORENSE INTEGRADO	32
4. IDENTIFICACIÓN EN LA PRÁCTICA MÉDICO LEGAL	34
4.1. IDENTIFICACIÓN DEL SUJETO VIVO Y CADÁVER RECIENTE.	35
4.2. IDENTIFICACIÓN DE RESTOS CADAVERÍCOS.	36
4.2. 1. <i>Data de los restos</i>	36
4.2.2. <i>Diagnóstico de especie</i>	41
4.2.3. <i>Diagnóstico individual</i>	41
4.2.3.1. <i>Determinación de la raza</i>	42
4.2.3.2. <i>Determinación del sexo</i>	48
4.2.3.3. <i>Determinación de la edad</i>	61
4.2.3.4. <i>Determinación de la estatura</i>	75
4.2.4. <i>Estudios radiológicos en la identificación médico legal</i>	98
JUSTIFICACIÓN.....	105
OBJETIVOS	109
MATERIAL Y MÉTODOS.....	113
1. MUESTRA.	115
2. MEDICIÓN ÓSEA	119
3. DIMENSIONES.....	122
4. MÉTODO ESTADÍSTICO.	127
RESULTADOS	133

1. UTILIDAD DEL PRIMER Y SEGUNDO METATARSIANOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA.	135
2. UTILIDAD DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA PARA LA ESTIMACIÓN DE ESTATURA Y DETERMINACIÓN DEL SEXO EN HUESOS METATARSIANOS.....	138
3. UTILIDAD DE LA PRIMERA Y SEGUNDA VÉRTEBRA CERVICAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN POBLACIÓN GALLEGA..	143
DISCUSIÓN	147
CONCLUSIONES	157
BIBLIOGRAFÍA	161
ANEXO I : ARTÍCULOS.....	183
ANEXOS II: TABLAS Y FÓRMULAS	203



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Compás de espesor.....	31
Figura 2. Tabla milimetrada	32
Figura 3. Diferencias raciales en el arco dental.....	44
Figura 4. Vista lateral del cráneo mostrando a) raíz, b) el puente, y c) la espina de la nariz según Byers [64].....	47
Figura 5. Diferenciación sexual en el cráneo. . Modificado de Knight's Forensic Patology [66]. Cráneo de la izquierda perteneciente a una mujer y el de la derecha a un varón.	52
Figura 6. Imagen modificada de Krenzer [60]. Expresión de las características a) cresta nual, b) proceso mastoide, c) borde supraorbital, d) arco supraorbital y e) prominencia del mentón (según Buikstra y Ubelaker) [76]	53
Figura 7. Características de la pelvis ósea. Modificado de Krenzer[60].....	56
Figura 8. Expresión del surco preauricular en el coxal derecho (según Buikstra y Ubelaker) [76]. Modificado de Krenzer [60].....	58
Figura 9. Expresión de la escotadura ciática mayor en el coxal izquierdo . Diferenciación morfológica (modificada de Krenzer [60]).....	58
Figura 10. Metamorfosis de la faceta auricular. Fases de la 1 a la 8 (modificado de Krenzer [60])	67
figura 11. Fusión endocraneal según Herrmann et al. [100]	71
Figura 12. Esquema de los cambios en tercera hasta quinta costilla según Iscan et al [113].; 1) fase 0; 2) fase 2-3; 3) fase 4; 4) fase 5; 5) fase 6-7; 6) fase 8. Modificado de Krenzer [60]....	73
Figura 13. Cronograma de la osificación de cartílago tiroides por Vlcek[116]	74
Figura 14. Puntos de referencia del fémur según Steel [171].....	95
Figura 15. Puntos de referencia de la tibia según Steel [171]	96
Figura 16. Puntos de referencia del húmero según Steel [171].....	97
Figura 17. Medición de la estatura a un voluntario del estudio.....	116

Figura 18. Dimensiones en radiografía dorso-plantar de pie izquierdo. M2, longitud máxima del 2º metatarsiano; m1, longitud máxima del 1º metatarsiano [187].....	120
Figura 19. Tc dental empleado para tomar las imágenes y realizar las mediciones en metatarsianos y vértebras.....	121
Figura 20. Dimensión de M1 en primer metatarsiano.....	122
Figura 21. Dimensión de M2 en segundo metatarsiano.	122
Figura 22. Dimensión M1, longitud máxima del primer metatarsiano y F1, longitud fisiológica en imagen TC del primer metatarsiano.....	123
Figura 23. Medición de M2 y F2, longitud máxima y fisiológica en el segundo metatarsiano.....	124
Figura 24. Medición de W1, anchura del primer metatarsiano. Vista longitudinal y sagital en imagen TC	124
Figura 25. Medición de V, altura de la vértebra en la primera vértebra cervical en imagen TC	125
Figura 26. Medición de I, interforaminal en la primera vértebra cervical en imagen TC.....	125
Figura 27. Medición de DO, diámetro mayor de la apófisis odontoides en la segunda vértebra cervical en imagen TC.....	126
Figura 28. Medición de O, altura de la odontoides en plano sagital en la segunda vértebra cervical en imagen TC.....	126
Figura 29. Representación gráfica de una regresión lineal con $R^2 = 1$	128
Figura 30. Representación gráfica de una regresión lineal con $R^2 = 0$	129
Figura 31. Las gráficas de las regresiones lineales obtenidas por tomografía computarizada dental y las medidas directas	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Esquema de Müller. Fases de esqueletización.....	40
Tabla 2. Degradación de la médula ósea según Maestre y Piga	40
Tabla 3. Tipos de fenómenos cadavéricos según su efecto sobre el cadáver	41
Tabla 4. Rasgos descriptivos craneales de los tres grupos raciales	49
Tabla 5. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos según Cordeiro et al.[138] para población portuguesa	92
Tabla 6. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos según Bidmos [162] para población sudafricana.....	93
Tabla 7. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura y otras medidas a partir de diferentes medidas de metatarsianos según De Groote et al.[163] para población de diferentes nacionalidades	94
Tabla 8. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos y otros huesos del pie según Pablos et al. [165] para población afro y euroamericanos	95
Tabla 9. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas en segunda vértebra cervical según Torimitsu et al. [160] para población japonesa	96
Tabla 10. Medidas descriptivas para cada grupo (METEG)	139
Tabla 11. Fórmulas de regresión para hombres, en mm (METEG)	140
Tabla 12. Fórmulas de regresión para mujeres, en mm. (METEG)	140
Tabla 13. Fórmulas de regresión para sexo indeterminado, en mm.(METEG).....	140
Tabla 14. Comparación de los valores de R obtenidos con el modelo lineal de regresión (LM) y el modelo aditivo (AM) cuando utilizamos la longitud máxima del primer y segundo metatarsiano para estimar la estatura (METEG)	141
Tabla 15. Valores de todas las medidas, en mm (TCES)	142
Tabla 16. Ecuaciones de regresión para los individuos de sexo masculino en mm. (TCES)	143
Tabla 17. Ecuación de regresión para los individuos de sexo femenino en mm. (TCES).....	144

Tabla 18. Ecuación de regresión para el sexo desconocido en mm (TCES).....	145
Tabla 19. Comparación de la estimación de la estatura con ejemplos de ambos sexos aplicando fórmulas desarrolladas con diferentes poblaciones. (TCES).....	146
Tabla 20. Estadística descriptiva en mm para cada grupo (EVEC).....	147
Tabla 21. Fórmulas de regresión para hombres (EVEC).....	148
Tabla 22. Fórmulas de regresión para mujeres (EVEC).	148
Tabla 23. Fórmulas de regresión para sexo desconocido (EVEC).	149
Tabla 24. Comparativa de valores de R aplicando el modelo de regresión lineal y el modelo aditivo, en el caso de sexo desconocido (EVEC).	150
Tabla 25. Precisión en la estimación obtenida con los tres métodos (EVEC).....	150
Tabla 26. Error cuadrático medio calculado con nuestras fórmulas frente a las portuguesas (METEG).....	154
Tabla 27. Tabla de Manouvrier tomada de Reverte [17]. Muestra poblacional francesa....	209
Tabla 28. Tabla de Telkkä [166] para hombres. Tomado de Reverte [17]. Para población finlandesa.....	210
Tabla 29. Tabla de Telkkä [166] para mujeres. Tomado de Reverte [17]. Para población finlandesa.....	211
Tabla 30. Fórmulas de regresión de Telkkä [166] para ambos sexos. Tomado de Reverte [17]. Para población finlandesa	212
Tabla 31. Fórmulas de regresión de Trotter y Gleser para ambos sexos [120]. Tomadas de Reverte [17]. Para población americana.....	213
Tabla 32. Tabla de Mendoça [143] para hombres. Tomadas de Reverte [17] para población portuguesa.....	214
Tabla 33. Tablas de Mendoça [143] para mujeres. Tomado de Reverte [17]. Para población portuguesa.....	215
Tabla 34. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de dimensiones de los metacarpianos según Meadows y Jantz [154]	216

Tabla 35. Fórmulas de regresión de Musgrave y Harneja para la estimación de la estatura a partir de dimensiones de los cinco metacarpianos [157].	217
Tabla 36. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de dimensiones de los metacarpianos según Sağır para población turca [158]	217
tabla 37. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la longitud máxima del fémur a partir de uno o más de sus segmentos según Steele [171], tomado de Reverte [17]. Para población caucásica y negroide estadounidense.....	222
Tabla 38. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la longitud máxima de la tibia a partir de uno o más de sus segmentos según Steele [171]. Tomado de Reverte [17]. Para población caucásica y negroide estadounidense	224
Tabla 39. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la longitud máxima del húmero a partir de uno o más de sus segmentos según Steele [171]. Tomado de Reverte [17]. Para población caucásica y negroide estadounidense	232
Tabla 40. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la estatura a partir de uno o más de segmentos del fémur según Steele [171]. Tomado de Reverte [17]. Para población caucásica y negroide estadounidense	234
Tabla 41. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la estatura a partir de uno o más de segmentos de la tibia según Steele [171]. Tomado de Reverte [17]. Para población caucásica y negroide estadounidense	235
Tabla 42. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la estatura a partir de uno o más de segmentos del fémur según Steele [171]. Tomado de Reverte [17]. Para población caucásica y negroide estadounidense	236





INTRODUCCIÓN

Según Smith, la medicina forense consiste esencialmente en ese cuerpo de conocimiento científico médico y paramédico que se puede utilizar para los fines de la administración de justicia [1]. Según el programa elaborado por la Comisión Nacional de la Especialidad y aprobado por la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación del Ministerio de Educación y Ciencia, la Medicina Legal, como sinónimo de la anterior, es la especialidad médica que tiene por objeto la utilización de los conocimientos médicos, jurídicos, administrativos, éticos y de ciencias afines, en la aplicación, desarrollo y perfeccionamiento del derecho, de la asistencia sanitaria y de la actividad profesional médica [2].

Dentro de la Medicina Legal se define la Antropología Forense como una disciplina derivada de la Antropología Física, que aplicando técnicas y métodos de ésta, coadyuva en la administración de justicia encargándose de establecer la identidad de individuos involucrados en problemas médico-legales, ya sean individuos vivos o cadáveres, mediante las características físicas, propias de cada sujeto.

Stewart definía la Antropología forense como la "rama de la antropología física que con fines forenses trata de la identificación de restos más o menos esqueletizados, humanos o de posible pertenencia humana" [3].

Iscan, miembro de la ABFA (American Board of Forensic Anthropology) y de la AAFS (American Association of Forensic Sciences) la define más ampliamente como "el peritaje forense sobre restos óseos humanos y su entorno" [4]. Es decir, incluye además del proceso de identificación (sexo, edad, filiación racial, talla y proporciones corporales, rasgos individuales), la determinación de las causas y circunstancias de la muerte, lo que equivale a la reconstrucción de la biografía biológica *ante mórtem* del individuo, siempre con el propósito de establecer cómo era el modo de vida de la víctima antes de su muerte, sus enfermedades y hábitos profesionales. Este procedimiento se conoce también como osteobiografía en palabras de Snow [5].

Identificar una persona, establecer su individualidad, es determinar aquellos rasgos o conjunto de cualidades que las distinguen de todas las demás y hacen que sea ella misma. Las cuestiones relacionadas con la identificación de las personas tienen una enorme importancia en Medicina Legal, que llega en algunas ocasiones a centrar el problema judicial exclusivamente en ella.

Esta disciplina científica tuvo sus orígenes en el siglo XIX, pero no fue reconocida hasta 1939, fecha en la que Krogman [6] publicó su famoso artículo “Guide to identification of human skeletal remains”, en la revista del FBI.

En el caso del peritaje sabemos que data de los años finales del siglo XVIII, fecha en que se realizó un peritaje de restos de óseos humanos, realizado en la Banda Oriental, documentado por Soiza en 1985 [7].

Esta disciplina recibió un gran impulso a partir de la Segunda Guerra Mundial, con los estudios que se llevaron a cabo para el reconocimiento de los restos de los soldados americanos que fallecieron en la misma, así como en conflictos bélicos posteriores como los de Corea y Vietnam. Estos estudios fueron de gran importancia para establecer los diferentes métodos para conocer, por ejemplo la edad anagráfica (edad al morir), el sexo, la afinidad racial, la estatura y otros tópicos de identificación [8].

Thompson en su "History of American Physical Anthropology" reconocía tres períodos en el desarrollo de la Antropología forense (citado por Ubelaker [9]):

1. El primer periodo estaría comprendido desde su nacimiento hasta finales del siglo pasado, década de los 30, cuando los anatomistas y médicos eran consultados de forma muy esporádica en algunos casos legales relacionados con la identificación de restos óseos, pero sin que existieran procedimientos estandarizados sobre la aplicación de estos conocimientos. A esta época pertenecen Thomas Dwight (1843-1911) quien en 1878 publicó la primera guía sobre el uso de los restos óseos en las practicas médico-legales [10]; además George Dorsey (1869-1931) y H. H. Wilder (1864-1928) quienes también publicaron manuales para la identificación de individuos vivos o muertos. No obstante, los más influyentes fueron Aleš Hrdlička (1869-1943), fundador de la American Association of Physical Anthropology (AAPA) y Ernest A. Hooton (1887-1954), quienes conformaron una sólida escuela de antropólogos físicos en varias universidades norteamericanas y en el Smithsonian Institution. En esta última entidad se estableció una enorme colección de restos óseos procedentes de varias partes del mundo que supera los 20 millares de ejemplares.

2. El segundo sería el período que transcurre entre los años 40 y principios de los 70. En 1939 Wilton Marion Krogman (1903-1987), el primer antropólogo físico en ser admitido en la

AAFS, expuso sus ideas en la “Guide to the Identification of Human Skeletal Material” [6] , el primer tratado escrito por un antropólogo para personal forense y que centró la atención de la comunidad médico-legal sobre el potencial informativo de la Antropología física (biológica) en los procesos de identificación, y demostró a sus propios colegas la importancia de su aplicación legítima a problemas forenses. Krogman publicó en 1962 su clásico tratado “The Human Skeleton in Forensic Medicine”, reeditado posteriormente en 1986 conjuntamente con M. Y. Iscan. Krogman popularizó las conocidas frases de “the skeleton talks, the skeleton tells its story”, (“los huesos hablan y cuentan su historia”).

Por otro lado en 1942 T. D Stewart llevó a cabo asesorías para el F.B.I. de un modo regular y, al igual que H. L. Shapiro, F. E. Randall y Charles E. Snow (1910-1967), fue consultado durante la segunda Guerra Mundial. También T. D. Stewart, Ellis R. Kerly y Charles P. Warren brindaron asesoría forense permanente durante la guerra de Corea. Debido a eso, podemos decir que este periodo se caracterizó, por un lado por el reconocimiento oficial que tuvieron los antropólogos físicos en las labores de identificación de cuerpos de soldados desaparecidos en las guerras de mediados del siglo XX y por otro el creciente interés hacia esta disciplina, como una importante actividad para la sociedad. Además, durante la primera mitad de este siglo XX se presentaron las colecciones de restos óseos Terry y Todd [11-16] que dieron lugar al establecimiento de las técnicas para la estimación del sexo, edad, patrón racial y reconstrucción de la estatura.

3. El tercer período comienza en el año 1971, año que marcó un cambio muy importante del papel de la antropología en las Ciencias Forenses, ya que se establece como una rama de ésta en la American Academy of Forensic Sciences (AAFS), lo que permitió la incorporación de antropólogos físicos a los equipos forenses de identificación de víctimas de desastres masivos, (incluida también la investigación del asesinato del presidente Kennedy). En 1977 esta labor obtiene su reconocimiento oficial mediante la creación de la American Board of Forensic Anthropology (ABFA) en la AAFS con el fin de garantizar la calidad de los peritajes forenses y profesionalizar a sus practicantes; con lo que a sus diplomados se les exigen credenciales académicas y aprobar un minucioso examen. La formación de esta sección también contribuyó a incrementar el número de artículos en el Journal of Forensic Science, constituyendo actualmente el 5% del total de títulos publicados [4]. En todo este proceso John

Lawrence Ángel jugó un papel muy importante como miembro fundador y primer presidente de la ABFA.

Hasta la década de los años 70 los antropólogos sentían la necesidad de demostrar cuánto podían aportarle a las ciencias forenses, y no fue hasta un año después cuando pudieron hacerlo oficialmente, gracias a la amplia experiencia desarrollada en el análisis de restos óseos prehistóricos, y a que en las facultades de Medicina había disminuido el interés por la morfología ósea y aumentado el cuánto sabían sobre huesos y cómo podían hacerlos hablar. Este aumento en la participación de los antropólogos se traduce en un aumento progresivo de los miembros de la ABFA, de los 14 miembros iniciales se fueron incrementando a 94 en 1987.

A partir de finales de los años 80 la experiencia norteamericana desarrollada en el transcurso de varios decenios se extendió a algunos países latinoamericanos, particularmente Argentina y Chile en donde se establecieron sendos equipos de antropólogos forenses.

1. RAÍCES HISTÓRICAS: LA MEDICINA LEGAL Y LA ANTROPOLOGÍA EN ESPAÑA

1.1 PERÍODO CLÁSICO

Existen dos eventos principales que ocurren a mediados del siglo XIX que influyen directamente en el desarrollo de las raíces históricas de la Antropología Forense:

- 1) la constitución de la *Société Danthropologie du Paris*, por el Profesor Paul Broca
- 2) el desarrollo de la moderna Medicina Legal, muy influenciada por la Antropología.

Tanto los médicos como los naturalistas han tenido un impacto significativo en el desarrollo de la Antropología en España. Una de sus principales figuras fue el Dr. Pedro González de Velasco el cual fue anatomista fundador de la Sociedad Antropológica Española en 1865 y del Museo Antropológico de Madrid en 1875. En estas fechas también aparecen las primeras publicaciones sobre Antropología, tales como la *Revista de Antropología* en 1874 y *Antropología Moderna* en 1883 [17].

En 1883, se crearon las secciones de Antropología y Etnografía del Museo de Antropología, a lo que siguió en 1892 la designación del profesor Manuel Antón y Ferrandis como primer

catedrático de Antropología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Madrid. En 1910 Ferrandis fue nombrado primer director del Museo de Antropología, Etnografía y Prehistoria. Otros eventos significativos fueron la publicación en 1883 del Índice Cefálico en España por el Dr. Federico Olóriz Aguilera, catedrático de Anatomía de la Universidad de Madrid [18-24] y la creación del Museo Craneológico que llegó a reunir un total de 2500 cráneos, 2220 de ellos correspondientes a individuos identificados [24]. Otras importantes investigaciones realizadas por Olóriz incluyen su publicación sobre la estatura en España. Desgraciadamente, la falta de colaboración para la recopilación de datos de algunas regiones españolas motivó el abandono de Olóriz de dicho proyecto. Su interés en las técnicas de identificación se volcó entonces en las huellas dactilares, de las que es uno de los fundadores, debiéndose a él el desarrollo del denominado Sistema Monodactilar Español.

De finales del siglo XIX y comienzos del XX destacan las publicaciones de otros ilustres fundadores de la Antropología española, como Telésforo de Aranzadi [26], catedrático de Antropología de la Universidad de Barcelona y Luis de Hoyos Sáinz [27], profesor de Fisiología y de la Escuela Superior de Magisterio de Madrid.

Podemos decir que en este periodo la Antropología juega un papel protagonista en tres áreas de la Medicina Legal:

- 1) Dentro de la que se denominó Antropología Criminal, el análisis de la relación entre los rasgos físicos y la conducta criminal.
- 2) El uso de la Somatometría o Antropología Judicial para el establecimiento de la identidad de individuos vivos (especialmente delincuentes) con el propósito de facilitar las identificaciones policiales.
- 3) La identificación de un cadáver, particularmente en el caso de restos humanos, cadáveres mutilados, quemados y/o esqueletizados, en los que se hace necesario establecer el perfil biológico (sexo, edad, estatura, etc.).

La Antropología Criminal se hizo famosa gracias a los trabajos de César Lombroso [28], quien consideraba a los delincuentes una subespecie anormal de la raza humana. Para Lombroso, el criminal desarrolla una conducta innata que representa una regresión a estados evolutivos previos y que se puede reconocer por una serie de estigmas o anomalías tales como la asimetría craneal o facial, una frente corta, arcos superciliares prominentes, prognatismo mandibular, una implantación irregular del pelo y los dientes y lo que él considera la

característica más recurrente de los criminales, un hoyuelo en mitad del occipital. Desde el punto de vista psicológico, predominan los instintos primitivos con una incapacidad congénita para resistir las fuerzas del mal. En España, uno de sus representantes más destacados es Rafael Salillas [29]. Otros famosos psiquiatras de la época también incorporaron las teorías antropológicas en sus intervenciones en los tribunales. Los doctores Ángel Pulido Fernández, José María Esquerdo Zaragoza, Luis Simarro Lacabra y Jaime Vera López, actuaron con frecuencia en procesos judiciales realizando evaluaciones científicas de comportamientos criminales.

En 1882 en el Congreso Médico de Roma, Alphonse Bertillon presentó el método antropométrico, y posteriormente publicaría su libro más famoso, “Identificación antropométrica” en 1893, el cual tenía como finalidad la identificación de criminales reincidentes tomando como base la casi absoluta invariabilidad del esqueleto humano adulto, la variabilidad inter-individual de las medidas esqueléticas y su simplicidad y precisión en sujetos vivos, proporcionando una clasificación práctica, sencilla y exacta. Este método fue rápidamente adoptado en España, contribuyendo a su difusión los trabajos de antropólogos físicos españoles tales como Álvarez Taladriz, García Plaza, Alonso y Aranzadi [30]. El siguiente descubrimiento de las huellas dactilares, a partir de los trabajos de Vucetich y especialmente de Olóriz en España, supuso el fin de las técnicas de identificación antropométrica de Bertillon. Sin embargo, las técnicas somatométricas han regresado de nuevo en los casos de identificación de delincuentes a través de imágenes obtenidas por videocámaras [31].

Una figura trascendental de la Medicina Legal en España es el Dr. Pedro Mata Fontanet. En 1843 se crea la primera cátedra de Medicina Legal en la Universidad de Madrid, al frente de la cual se nombra al Dr. Mata. A él se debe la creación en 1862 de un cuerpo de médicos del Estado dependientes del Ministerio de Justicia, al servicio de Juzgados y Tribunales, que será denominado Cuerpo Nacional de Médicos Forenses, cuyo título y funciones se encuentran reconocidas oficialmente en la Ley de Enjuiciamiento Criminal de 1882. En este contexto, la Antropología es reconocida como una materia principal de la Medicina Forense. Del primer programa oficial de oposiciones para acceso al Cuerpo, del año 1915, 28 temas corresponden

a los capítulos de antropometría, craneometría y características esqueléticas relativas al sexo y edad, o el desarrollo dental [32].

Los trabajos de antropólogos españoles como los anteriormente mencionados Olóriz o Aranzadi son citados en los textos de Medicina Legal de la época describiéndose en los mismos las técnicas antropológicas de identificación del cadáver. En ellos encontramos referencias y descripciones antropométricas referentes al diagnóstico de la estatura, sexo, edad (puntos de osificación, cierre de suturas, osificación laríngea, estado de los dientes); marcas particulares (fracturas antiguas, modificaciones ocupacionales) así como el uso de los rayos X y al análisis dental. Algunos autores como Antonio Lecha Marzo recogen la importancia del análisis microscópico del hueso en la estimación de la edad y de la data de la muerte [33], a partir de estudios previos desarrollados por Tirelli. Los textos de Tomás Maestre primer director del Instituto de Medicina Legal, Toxicología y Psiquiatría de España, creado en 1914 o de Piga [34, 35] sucesor de Maestre en la Cátedra de Medicina Legal de Madrid, son particularmente minuciosos al abordar las cuestiones relativas a la identificación del cadáver.

El periodo comprendido entre la segunda mitad del siglo XIX y la Guerra Civil Española (1936-1939) es conocido como la “Edad de Plata” de la cultura y la ciencia españolas. En esta época, instituciones como el Ateneo de Madrid y particularmente la Institución Libre de Enseñanza, disfrutaban de gran influencia en los ámbitos cultural y científico.

La Institución Libre de Enseñanza se funda en 1876 por un grupo de profesores universitarios (Francisco Giner de los Ríos, Gumersindo de Azcárate y Nicolás Salmerón), apartados de la universidad en defensa de la libertad de cátedra. Esta institución, con la que colaboraron la mayor parte de los más prestigiosos científicos españoles del momento, marcó un periodo significativo del desarrollo de la cultura científica española. Uno de sus principales logros fue la creación de la Junta para Ampliación de Estudios, que estuvo a cargo de la creación del Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales al que incorporó el Museo de Antropología. El principal propósito de este museo fue introducir en España las teorías pedagógicas y científicas que se estaban desarrollando internacionalmente. Desgraciadamente, la Guerra Civil provocó la destrucción de esta institución y con ello, el incipiente sistema científico que había comenzado en España.

1.2. PERÍODO MODERNO

Después de la Segunda Guerra Mundial, mientras que la Antropología Forense se desarrollaba rápidamente fuera de España, especialmente en los Estados Unidos, en nuestro país los avances eran relativamente escasos. Caben resaltar (en este período) las investigaciones sobre restos esqueléticos con fines forenses, llevadas a cabo por el Dr. Blas Aznar, impulsor de la Criminalística en España [36] y el ya mencionado Tomás Maestre [37]. Los tratados de reputados autores como los Dres. Royo-Villanova [38], Lopez Gómez [39] y Gisbert Calabuig [40] y los trabajos científicos referentes al estudio de restos humanos, continuaron durante décadas haciendo exclusivamente referencia a los textos y autores más clásicos de la disciplina y a conocimientos desactualizados.

Podemos decir que a principios de los años 80 comienza un nuevo periodo para la Antropología Forense española, cuyo punto de inicio es la creación del Laboratorio de Antropología Forense y Paleopatología de la Escuela de Medicina Legal de Madrid, a cargo del Prof. José Manuel Reverte Coma [17]. Él fue responsable de crear un grupo, principalmente formado por médicos legistas o forenses, interesado en la disciplina. Gracias a la publicación de su libro *Antropología Forense* en 1991 las técnicas y conocimientos desarrollados por la Antropología forense norteamericana se van a difundir en nuestro país. Este resurgimiento renovado de las técnicas de estudio de restos humanos, bajo la denominación de Antropología Forense, coincide también con varios acontecimientos muy importantes que van a marcar el futuro del rumbo de la Antropología forense en España. Principalmente la fundación en el año 1986 de la Asociación Española de Paleopatología y, muy especialmente, el comienzo de la idea de modernización de la Medicina legal en España, con la reimplantación en 1984 de la Especialidad de Medicina Legal y Forense (en cuyo programa de formación se incluye la Antropología forense) y la publicación en el año 1985 de la Ley Orgánica del Poder Judicial que desarrolla la figura de los Institutos de Medicina Legal. De esta forma, la Antropología forense se incorpora en nuestro país al *currículum* de Medicina legal y comienza a aplicarse, en su concepción moderna, en la práctica médico forense cotidiana.

Además en el año 1985, la legislación reconoce, en la mencionada Ley Orgánica del Poder Judicial, la necesidad de transformar el sistema organizativo de la Medicina forense en España, a través del desarrollo de los denominados Institutos de Medicina Legal. Los Institutos nacen con el ánimo de promover la modernización de la Medicina forense, fomentando el trabajo en equipo y la especialización, en centros equipados adecuadamente.

Durante 15 años, el Instituto Anatómico Forense de Madrid, dirigido por el Dr. José María Abenza Rojo, trabajó en el desarrollo del embrión que debería llegar a ser una parte importante del futuro Instituto de Medicina Legal, llevándose a cabo en este periodo la creación y consolidación de servicios de Anatomía Patológica, Toxicología, Radiología y Antropología y Odontología forenses, constituyendo éste último el primer laboratorio de su especialidad creado (en el año 1992) en el seno del Cuerpo Nacional de Médicos Forenses.

Esta estructura se plasmó en el Reglamento del Instituto de Medicina Legal de Madrid, publicado en el año 2006 (Decreto 37/2006, de 4 de mayo, por el que se crea el Instituto de Medicina Legal de la Comunidad de Madrid y se aprueba su Reglamento. BOCM nº 109, de 9 de mayo) en el que se contempla una Sección de Antropología y Odontología Forense, encuadrada en el Servicio de Patología y encargada de “la identificación de sujetos vivos y cadáveres, así como el estudio de los restos humanos para su identificación y el establecimiento de la causa y circunstancias de la muerte”. Desgraciadamente, diversas circunstancias desembocaron en el año 2008, en el cierre de dicho laboratorio.

El Ministerio de Educación y Ciencia, siguiendo la denominación internacional de la UNESCO, considera la “Antropología Forense” como una subdisciplina de la “Antropología Física” encuadrada en el campo de las Ciencias de la Vida. Como se ha remarcado anteriormente, los problemas de identificación de sujetos vivos y cadáveres en la esfera legal en nuestro país se han asociado siempre a la Medicina Legal y Forense de forma que, en la práctica, la Antropología Forense constituye una auténtica especialidad de la Medicina Legal y Forense cuyo propósito es el estudio médico legal, en especial de los restos humanos, para su identificación y el establecimiento de la causa y circunstancias de la muerte. Estos dos últimos elementos son fundamentales en la resolución de cualquier caso de muerte en un contexto judicial y constituyen objetivos indiscutibles de cualquier autopsia médico legal (como estipula la Ley de Enjuiciamiento Criminal) cualquiera que sea la condición en que se

encuentra el cuerpo o su estado de conservación. En este sentido, la Unión Europea, en la Recomendación 99(3) del Consejo de Ministros de los Estados Miembros para la Armonización de las Autopsias Médico Legales (1999) establece en los Principios y Reglas de los procedimientos de autopsia médico-legal, que éstas “deben ser practicadas en todos los casos evidentes o sospechosos de muerte no natural” y, en particular, “en los casos de cuerpos no identificados o esqueletizados”, consideración sobre la que abunda el Manual de las Naciones Unidas sobre la Prevención e Investigación Eficaces de las Ejecuciones Extralegales, Arbitrarias o Sumarias, o Protocolo Minnesota (1991).

En este contexto, cabe resaltar el hecho de que el experto en Antropología forense juega cada día un papel más relevante en el estudio de cadáveres frescos sometidos a autopsias convencionales, contribuyendo al diagnóstico de la causa y especialmente de las circunstancias de la muerte, complementando el trabajo del médico o patólogo forense. Ese trabajo es especialmente útil a la hora de proporcionar datos adicionales sobre las características de las lesiones (traumatismos contusos, lesiones por arma blanca y de fuego) y los objetos responsables de las mismas, cuando éstas afectan a estructuras óseas. Un antropólogo o antropóloga forense que trabaja en los centros en los que se practican diariamente las autopsias de cadáveres judiciales (Institutos de Medicina Legal) adquiere una experiencia inestimable a la hora de aplicar sus conocimientos en el diagnóstico de lesiones sobre restos esqueléticos y aporta una perspectiva diferente a la de los médicos o patólogos forenses sin formación específica en el análisis de las estructuras óseas.

Los principales centros que cuentan en la actualidad con laboratorios de Antropología forense al servicio de la Administración de Justicia son los siguientes:

- Institutos de Medicina Legal (Cataluña y Galicia).
- Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses (Departamento de Madrid).
- Departamentos Universitarios, principalmente de Medicina legal (Madrid, País Vasco, Valencia, Alicante y Granada).
- Áreas de Policía Científica de los Cuerpos Nacionales de Policía (Policía Nacional y Guardia Civil).

Aunque no existen estadísticas que permitan conocer el número total de casos forenses (judiciales) investigados anualmente por estos laboratorios, un cálculo aproximado sitúa esta cifra en unos 200. Esta cantidad es muy inferior al número de casos que objetivamente

requerirían un estudio antropológico, coincidiendo con lo observado en otros países. Sirva como ejemplo el caso del laboratorio del Instituto Anatómico Forense de Madrid. De una media anual en torno a los 2500 cadáveres, la demanda de estudios antropológicos para Madrid (el laboratorio daba cobertura a Juzgados de toda España) oscilaba entre los 35 y los 40 casos. El desarrollo de la especialidad en los Institutos de Medicina Legal debería facilitar una actuación protocolizada, con criterios de estudio más objetivos y homogéneos.

2. LEVANTAMIENTO Y EXHUMACIÓN DE RESTOS ÓSEOS

Dentro de la Antropología Forense debido a las complicaciones, cada vez mayores en la identificación de restos, se ha agrandado su campo de actuación; por ejemplo en casos con múltiples víctimas por accidentes naturales, atentados.

Sin embargo la mayoría de los casos de estudio son debidos a la presencia de un cadáver esqueletizado total o parcialmente en mal estado de conservación, los cuales se pueden encontrar en la superficie, la gran mayoría, o bien inhumados en casos de confesiones o testimonios o como consecuencia de obras.

Por todo esto es necesario establecer unas pautas de actuación cuando se halla un cuerpo para identificar y poder recoger la máxima cantidad de información de los restos, del entorno y de las circunstancias que lo rodean [41].

Ante la aparición de unos restos sin identificar lo primero es ponerse en contacto con la Unidad de Antropología Forense valorando en base a la información preliminar, la presencia o no de un antropólogo forense en la escena, el cual actuará como asesor del médico forense y orientará sobre las diversas fases del levantamiento. Nuestra actuación variará en función de si los restos están en la superficie o inhumados.

2.1. CUERPO EN SUPERFICIE

En primer lugar se debe acordonar la zona y se lleva a cabo la fase no invasiva situándonos fuera del área donde se encuentran los restos. Se realiza una observación meticulosa de la escena utilizando un croquis, un video o una fotografía. Intentando siempre recabar toda la información posible de la zona donde se encuentran, de las circunstancias, condiciones ambientales y características de los restos, entre otros aspectos.

En la fase invasiva, es decir, dentro del perímetro donde se encuentran los restos, se hace una primera valoración sobre el origen de los restos, las ropas, los documentos personales...Haciéndolo siempre con especial hincapié en los elementos que creamos que nos puedan orientar ante una posible identificación o esclarecimiento de los hechos (por ejemplo una fractura).

Una vez realizada esta primera observación se procede a recoger los restos de forma ordenada, indicando el lado al que pertenecen dando una mayor protección a las costillas y la cabeza por su fragilidad. Estos restos han de ir embalados en un material seco y que respire y enviados junto con la documentación pertinente al laboratorio.

2.2. CUERPO INHUMADO

En este caso es necesaria la participación de personas cualificadas para realizar la exhumación de los restos. Siempre hay que planificar el trabajo teniendo en cuenta todas las características posibles, como por ejemplo la meteorología y todos los materiales a utilizar.

Primero se delimita la zona con estacas y cuerdas y se fija la zona fotografiando y cartografiando. Se debe retirar todo tipo de desecho y vegetación siempre con mucho cuidado de descartar la existencia de restos biológicos. Se elimina la capa superior de la tierra de forma uniforme y horizontal observando cualquier cambio en las características orgánicas de ésta. Después se va eliminando la tierra sobrante y a medida que van apareciendo los restos tenemos que fijarlos con fotografía, descripción y cartografía. La tierra que vamos retirando hay que tamizarla en busca de cualquier indicio. Alrededor del cuerpo es necesario excavar en sus lados con una profundidad de 50cm.

Tenemos que recoger todos los restos con mucho cuidado, etiquetarlos correctamente y empaquetarlos adecuadamente en bolsas de papel y cajas de cartón; nunca de plástico porque favorece la aparición de humedad y con ello de microorganismos. Y siempre cuidando en todo momento que no se rompa la cadena de custodia.

Una vez recibidos en el laboratorio se procederá a la limpieza y desinfección de los restos. La mayoría de las veces estos restos óseos van acompañados de restos de partes blandas que se deben de retirar si no son de interés forense. Se suelen sumergir en agua jabonosa y se limpian con ayuda de cepillos y agua corriente. Después se sumergen en hipoclorito de sodio diluido al 30% durante 15 minutos y se enjuagan ya que los restos de esta solución pueden formar cristales.

Para retirar los restos de partes blandas se utilizan productos químicos (por ejemplo hervir los restos cuatro horas con agua y hexametáfosfato sódico). Después de este proceso es frecuente que se oscurezcan y para ello se pueden sumergir en agua oxigenada un tiempo controlado ya que podrían descalcificarse si se sobrepasa el tiempo.

Aún así es muy complicado retirar la grasa que rodea al hueso, sobre todo si éste está completo ya que en los fragmentos se evacua a través del canal medular.

Si los restos se han de enterrar nuevamente antes de obtener la identificación se deben de recoger una serie de muestras para analizar posteriormente (corte transversal de cada fémur, un incisivo mandibular,...).

2.3. DATOS ANTROPOMÉTRICOS

Durante muchos años, la medición directa de los huesos ha sido el instrumento principal de la Antropología Física. Hasta los años 60 se utilizaban medidas individuales o índices que combinaban varias, para fijar la asignación a un grupo determinado de especie, raza... En la actualidad se han desarrollado métodos estadísticos e informáticos, como los utilizados en los estudios aquí presentados, mediante el estudio multivariante que permite una estimación de la forma.

Una buena medida para ser útil, tiene que proporcionar resultados homogéneos y repetibles, reduciendo al máximo el error intraobservador.

Las medidas han de tomarse siempre en mm y en caso de ser bilaterales han de tomarse las de la izquierda como referencia, y cuando esto no sea posible tenemos que documentarlo. Existen numerosos instrumentos de medida pero se describen a continuación los más comunes:

- Cinta métrica: es importante que sea de material no extensible.
- Calibre o pie de rey: es una regla que presenta una rama fija en un extremo y otra que, al deslizarse sobre ella permite leer sobre la misma, sobre un dial o una pantalla digital.
- Compás de espesor: consta de dos ramas en forma de interrogación articuladas por el extremo de la parte recta. En una de las ramas tiene articulada una regla marcada con una escala de manera que permite leer la apertura de las ramas.



Figura 1. Compás de espesor.

- Tabla osteométrica: es una superficie horizontal milimetrada con una regla longitudinal con un tope fijo y otro deslizante que al moverse permite medir la apertura entre los topes.

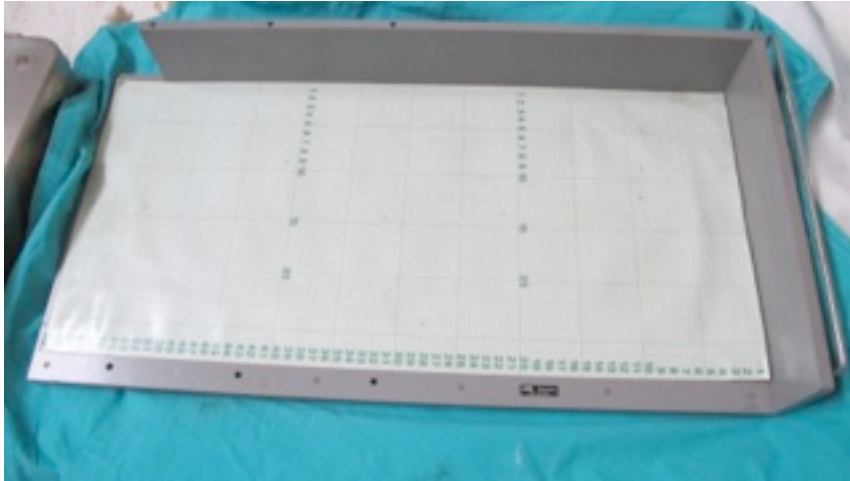


Figura 2. Tabla milimetrada.

3. INFORME ANTROPOLÓGICO FORENSE INTEGRADO (IAFI)

El IAFI [41] es el documento donde se recogen todas las actuaciones llevadas a cabo por los profesionales implicados en todas las investigaciones del antropólogo Forense, el cual es a la vez un Informe Pericial y un documento con una visión global de todas las investigaciones realizadas. La AEAOF (Asociación Española de Antropología y Odontología Forense) recomienda emplearlo siempre que sea posible.

Este informe puede ser conjunto o puede constar de varios informes parciales pero siempre con un consenso científico que responda a las cinco cuestiones básicas de todo informe pericial forense:

- 1º. Identificación.
- 2º. Origen de la muerte: natural o violenta (accidental, suicida u homicida).
- 3º. Data de la muerte.
- 4º. Causas de la muerte.
- 5º. Circunstancias de la muerte.

Además se deben de incorporar al IAFI todos los informes parciales del resto de profesionales implicados (Atestado policial, informes técnicos del georradar...).

El esquema general de este informe debe constar de:

- a. Identificación del experto y la institución a la que pertenece.
- b. Material y Métodos: donde se incluyen los datos de la cadena de custodia y demás aspectos metodológicos de interés.
- c. Resultados: describiendo todos los hallazgos de interés.
- d. Discusión de los resultados o análisis antropólogo-forense: análisis de todos los resultados obtenidos explicando científica y razonablemente los resultados.
- e. Conclusiones: en este apartado se debe de responder a las cinco cuestiones básicas anteriormente descritas
- f. Bibliografía: referencias de los textos usados en la elaboración del informe.



4. IDENTIFICACIÓN EN LA PRÁCTICA MÉDICO LEGAL

Identificar una persona es en definitiva conseguir determinar aquellos rasgos o conjunto de cualidades que la distinguen de todas los demás y hacen que sea ella misma.

Las cuestiones relacionadas con la identificación de las personas tienen una gran importancia dentro de la Medicina Legal, llegando incluso en algunas ocasiones a centrarse el problema judicial exclusivamente en esa identificación.

En la práctica forense los casos de identificación pueden corresponder a uno de los siguientes tres supuestos:

- *Sujetos vivos*: son los casos de desaparecidos, de usurpaciones de personalidades e incluso de disputas de paternidad. También enfermos mentales con estados patológicos en curso con amnesia o de menores sin documentación, familiares...
- *Cadáveres recientes*: debe entenderse por cadáver reciente, aquel en el que la putrefacción no se ha iniciado de forma muy evidente. Los casos más frecuentes son las víctimas de desastres colectivos en los que resultan a menudo deformadas haciendo difícil su identificación.
- *Esqueleto y restos cadavéricos*: la identificación de cadáveres en estado de putrefacción avanzada, mutilados o de restos cadavéricos plantea problemas, tanto por la limitación de datos que proporciona el examen de los restos como por la esencia misma del problema judicial.

4.1. IDENTIFICACIÓN DEL SUJETO VIVO Y CADÁVER RECIENTE

Cuando los restos encontrados pertenecen a un cadáver reciente se pueden llevar a cabo una serie de exámenes para la recogida de datos [42]:

- Exámenes generales: un simple examen visual puede suministrar importantes datos para la identificación. La descripción de los datos fisonómicos es un método muy simple, de ahí que se haya intentado tecnificar para la técnica policial. Sexo, talla, edad, marcas particulares, ropas... pueden ser determinados de esta manera.
- Huellas dactilares: son las impresiones que dejan los pulpejos de los dedos manchados con tinta, sudor u otro líquido sobre una superficie pulimentada o cartulina. Las huellas están formadas por unas líneas entrantes y salientes (surcos y crestas) que dan lugar a multitud de figuras diferentes en cada persona, por lo que permiten la identificación individual.
Se trata de una técnica de alto valor identificativo pero que en general no suele ser aplicable en Antropología Forense. En algunos casos especiales es posible obtener huellas digitales por regeneración de tejidos momificados o desecados o mediante la obtención de huellas latentes en algunos objetos. En términos generales se aceptará la identificación individual realizada por huellas dactilares si existe concordancia de un mínimo de 12 puntos característicos.
- Nuevas técnicas: los progresos en la investigación de nuevos métodos han permitido usar por ejemplo, la identificación genética como método legal. El ADN puede obtenerse de cualquier célula orgánica, semen, pelos, saliva, orina...tanto en vida como después del cadáver mientras se pueda obtener material biológico en condiciones adecuadas. Se están haciendo progresos en la utilización de otras metodologías como pueden ser el retinograma o el análisis de la marcha, pero debido a su complejidad y variabilidad su uso no se ha asentado de momento.

4.2. IDENTIFICACIÓN DE RESTOS CADAVERÍCOS

En la mayoría de los casos, el problema reside en tener que identificar restos cadavéricos o huesos aislados casi siempre en muy mal estado, lo que dificulta mucho su estudio.

En el estudio de dichos restos tendríamos que dar respuesta a diferentes cuestiones, entre las que destacamos, dado el interés para este trabajo, las siguientes:

4.2.1. DATA DE LOS RESTOS

El cronotanatodiagnóstico o diagnóstico de la data de la muerte, es decir, la determinación del tiempo que transcurrió desde que falleció un individuo, puede ser extremadamente difícil e importantísimo a nivel legal. Dada la finalidad de este trabajo se hará hincapié en el cadáver antiguo.

El artículo 131 del Código Penal de 1995 establece que los delitos prescriben a los 20 años cuando la pena máxima señalada al delito sea de 15 o más años. Si investigamos un probable homicidio y el examen de los restos se establece que tienen una data superior a 20 años, a efectos jurídicos el caso podría ser sobreseído o cerrado archivándose la causa, con la excepción de los delitos de Genocidio [44, 45]. Además de su trascendencia penal, no cabe duda que conocer la data de unos restos resulta de gran ayuda en la definitiva identificación de los mismos, ya que puede orientar su estudio.

Los métodos para estimar la data varían si se trata de un cadáver reciente (hasta el inicio de la putrefacción) o antiguo [46].

En este último supuesto, tal estimación se basa en la cantidad y condición de los tejidos blandos, como por ejemplo la piel, el músculo y los ligamentos presentes, la preservación de los huesos, cantidad de raíces de plantas que han crecido, olor, y cualquier actividad carnívora e insecticida. De todas formas, muchas otras variables pueden ser consideradas, tales como la temperatura en el momento de la muerte, las heridas penetrantes, humedad, si es árido, acidez del suelo, retención de agua. Cuanto más tiempo haya transcurrido desde la muerte, más difícil será la determinación del intervalo.

B. Müller en 1940 presenta un esquema-guía para poder determinar la fase de esqueletización teniendo en cuenta los factores endógenos y exógenos del lugar representada en la siguiente tabla (Tabla 1) [47].

Tabla 1. Esquema de Müller. Fases de esqueletización.

CAMBIOS MORFOLÓGICOS	TIEMPO DESPUÉS DE LA MUERTE(años)
Formación de una capa de moho en los cadáveres sepultados en tierra	2-4
Desaparición de partes blandas en enterramientos en fosas	2-4
Desaparición de cartílagos y ligamentos en cadáveres sepultados en tierra	5 o más
Desaparición de la grasa de los huesos	5-15
Destrucción del hueso	10-15 (depende del terreno, hay huesos que resisten miles de años)
Estado quebradizo, frágil y poroso	Al menos 50 (cotejar con la composición y estado del terreno)

Maestre y Piga en 1928 estudiaron también la evolución postmortem de la médula ósea (Tabla 2) deduciendo que un canal medular desprovisto de materia orgánica tiene una antigüedad superior a los 6 años [34].

Tabla 2. Degradación de la médula ósea según Maestre y Piga [34].

CAMBIOS MORFOLÓGICOS	TIEMPO DESPUES DE LA MUERTE (años)
Desaparición de la médula ósea	>6
Ausencia de materia orgánica en el canal medular	>10

Se sabe que los huesos sufren modificaciones en su composición química, su parte orgánica se degrada y su parte mineral puede sufrir intercambios en su composición dependiendo del medio con el que estén en contacto.

La putrefacción cadavérica es la descomposición de la materia orgánica del cadáver y está constituido por factores endógenos como las bacterias y parásitos intestinales, y los factores exógenos tales como la temperatura y el medio ambiente donde se encuentra el cadáver.

La descomposición es muy precoz en verano y tardía en invierno (siempre y cuando el cadáver se encuentre al aire libre y no en una habitación con calefacción ya que esto último sería similar al verano). El órgano más frágil a la putrefacción es el cerebro y los más resistentes el corazón, el útero y la próstata. A continuación se describen los principales fenómenos cadavéricos según su efecto en el cadáver (Tabla 3).

Tabla 3. Tipos de fenómenos cadavéricos según su efecto sobre el cadáver

QUE CONSERVAN EL CADÁVER	MOMIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Producto de la concomitancia de la desecación rápida del cadáver y la ausencia o suspensión de los fenómenos de putrefacción cadavérica. - Tiempo de producción aprox. 6 meses a 1 año de producida la muerte. - Las condiciones óptimas para que se produzca es en ambientes de altas temperaturas, secos y ventilados. - Se respetan las estructuras histológicas permitiendo efectuar diagnósticos retrospectivos.
	PETRIFICACIÓN O CALCIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Resulta de la infiltración de parte o todo el organismo por sales calcáreas. - Puede ser primitiva en casos de fetos retenidos o secundaria en un cadáver de un menor o adulto.
	ADIPOCIRIA	<ul style="list-style-type: none"> - Transformación grasa del cadáver - Químicamente es un jabón de calcio, potasio o magnesio que se forma por autólisis a expensas del tejido adiposo y proteínas orgánicas. - Evoluciona hacia la calcificación si la acumulación de sales calcáreas se identifica o hacia la colicuación si predomina la humedad ambiental. - Tiempo de producción aproximado: de 3 meses a 1 año de la muerte. - El ambiente óptimo para que suceda son los ambientes húmedos y las aguas estancadas.
	CORIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Es una forma de adipociria incompleta. - Propia de cadáveres inhumados en ataúdes de zinc o plomo. - El tiempo de producción es similar a la de la adipociria.

QUE DESTRUYEN EL CADÁVER	COLICUACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Transformación líquida de todas las partes blandas cadavéricas. - El tiempo de producción aproximado no existe, suele ser precoz en relación con la fecha de muerte. - Suele darse en inhumaciones en tierra con ataúdes que permiten el paso de líquidos o humedad vecina.
	DESCALCIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Comienzo de la pulverización - Se produce cuando han desaparecido las partes blandas por la putrefacción, los huesos quedan al descubierto perdiendo sus sales de calcio y volviéndose frágiles. - El tiempo de producción oscila del año a los 5.
	PULVERIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> - Transformación final del cuerpo humano. - El tiempo de producción es de 15, 20 o más años. - Las condiciones óptimas para que suceda sería en cadáveres inhumados directamente en tierra sin ataúdes que les protejan o bien abandonados al aire libre.

La entomología cadavérica es una técnica indirecta del cálculo de la data de muerte basada en el estudio de los ciclos vitales de diferentes organismos [50].

Las primeras oleadas de insectos llegan al cuerpo atraídas por el olor de los gases desprendidos en el proceso de la degradación de los principios inmediatos (glúcidos, lípidos y proteínas) y otros gases como el amoníaco, el ácido sulfúrico, el nitrógeno libre y el anhídrido carbónico. De acuerdo a la progresión sucesiva de los artrópodos que alcanzan el cadáver se puede realizar un cálculo estimado de la data de la muerte.

El nacimiento de la entomología médico criminal se produjo en el siglo XIII, en China, cuando en 1.235 A.C. Sung Tz'u escribió un libro "The Washing Away of Wrongs", donde aparece el primer documento escrito de un caso resuelto por la entomología forense. Fue a mediados del siglo XIX, en Francia, cuando la ciencia surgió como tal. Orfila en 1848, listó 30 insectos y otros artrópodos que colonizaron un cuerpo y sus observaciones pudieron ser las primeras en sistematizar el conocimiento de la sucesión de artrópodos, aunque a Bergeret (1855) se le da el crédito de aplicar este conocimiento a un caso criminal: por evaluación de la fauna de insectos, determinó el IPM.

Existen otros métodos de datación que se utilizan en hueso pero no son exclusivas de la antropología forense tales como la datación por C14, racemización de aminoácidos y la Resonancia electrónica [52-54].

La técnica de datación por carbono ha sido utilizada con una amplia variedad de propósitos, entre ellos la determinación de la edad en material óseo. Su aplicación para la data se basa en los mismos principios que para cualquier otro material orgánico. Mientras un organismo está vivo y mantiene una constante interrelación con el medio, la cantidad de C14 que posee es la misma que existe en la atmosfera que se mantiene constante a través del tiempo. Al morir el C14 disminuye progresivamente a una velocidad constante de aproximadamente un 1% cada 80 años. En la medida de este descenso, se basa esta técnica de datación.

Mediante este método de análisis se pueden datar muestras de entre 500 y 50.000 años aproximadamente, pero tiene como principales inconvenientes el tamaño de la muestra, (usualmente grande) y el tiempo necesario para obtener los resultados que tiene una relación inversa con el tamaño de la muestra.

La racemización de los aminoácidos esta basado en la medida de las forma D y L de los aminoácidos. Mientras que un organismo está vivo utiliza exclusivamente las formas L de los aminoácidos, siendo por tanto las únicas que posee. Cuando fallece las formas L se van transformando en forma D a una velocidad que es constante e independiente para cada aminoácido y que está influenciada por el pH y la temperatura. Su rango de actuación en el tiempo depende de la temperatura a que haya estado sometido el material, lo que hace de ella una técnica insegura. De cualquier manera su uso está restringido al terreno de la paleontología alcanzando su límite según la zona hasta 500.000 años (Centro Europa) o 60.000 años (Ecuador).

El uso de la resonancia en la datación se basa en la detección del momento magnético inducido por la rotación de un electrón cargado negativamente. Estos electrones son producidos por la radiación natural resultante de la descomposición del uranio, torio, y potasio del material que se estudia. La dosis total de radiación, que está en relación con la edad, puede determinarse a partir de la concentración de electrones cargados negativamente. Desde el punto de vista de la Antropología Forense algunos autores señalan que si se calibra el equipo para muestras recientes sería posible establecer la data con fines forenses.

4.2.2. DIAGNÓSTICO DE ESPECIE

Comprende el estudio osteológico comparativo y anatómico de los fragmentos o elementos óseos a fin de señalar las características que compatibilicen con la especie humana o no. Cuando las características o tamaño de la muestra no lo permitan se dispone de una variedad de métodos de ayuda.

Cuando el esqueleto está completo no ofrece dificultad el diferenciarlo de los restos animales. En cambio si son restos óseos sin rasgos anatómicos destacables es más dificultoso.

Se pueden aplicar diferentes métodos como el estudio del índice medular [49,53] el cual consiste en la relación entre el diámetro mínimo del canal medular y el diámetro mínimo diafisario siendo esta menor en el humano que en los animales (menor de 0,50 en el hombre y mayor de 0,50 en animales).

Dentro del método histológico tendríamos la evaluación del patrón estructural observado microscópicamente y la medida de los conductos de Havers siendo menor en el humano que en animales.

También podemos contar con estudios radiológicos o métodos inmunológicos ya que por ejemplo en la especie humana es positiva la prueba de especificidad con el Suero Antihumano, utilizando polvo óseo o adherencias orgánicas al mismo.

4.2.3. DIAGNÓSTICO INDIVIDUAL

Todas las identificaciones de restos esqueléticos comienzan con lo que Krogman [6] refirió como "los cuatro grandes": edad, sexo, raza, y estatura. Si un esqueleto está completo e indemne, estas cualidades se pueden determinar con gran exactitud. Usando las últimas técnicas publicadas, y con restos adecuados, el sexo se puede determinar con certeza, la edad es estimada con un margen máximo de 5 años, y la estatura aproximada con una desviación estándar alrededor de 1.5" (3.5 cm). La asignación al grupo de raza caucásico, mongoloide o negroide se puede lograr con un alto nivel de certeza. Sin embargo, los antropólogos forenses tienden más a tratar con los especímenes, generalmente hechos fragmentos, así que debemos obtener tanta información como sea posible de cada hueso.

4.2.3.1. DETERMINACIÓN DE LA RAZA

Podemos decir que las poblaciones humanas se distinguen entre sí por una serie de rasgos que varían con una tendencia central y una frecuencia determinada en su distribución. Pertenecemos a la especie *Homo sapiens*, que ha sido dividida en subespecies o razas con el fin de sistematizar la información existente y poder facilitar su estudio. No obstante, los límites de esas clasificaciones son ambiguos y basados a menudo sobre supuestos inexactos que sólo pueden conducir a errores y que muchas veces están rodeados de sentimientos y posiciones morales y económicas. En la medida de su hipotética realidad, las razas deben ser consideradas a lo sumo como conglomerados de poblaciones que comparten una historia biológica común en virtud de los procesos evolutivos de mutación, selección natural, deriva genética y flujo génico. Este último proceso ha incidido significativamente en la transformación de la estructura genética de las poblaciones contemporáneas. Por tal razón, desde el punto de vista evolutivo una raza es una categoría transitoria, dinámica, que cambia de forma y de frecuencia según las condiciones históricas, geográficas y morfológicas.

A fin de obviar algunas de las dificultades inherentes al estudio de la variabilidad de las poblaciones humanas, éstas se han agrupado en grandes troncos geográficos-raciales, denominados caucasoide, mongoloide y negroide que designan ante todo una tendencia en el conjunto de rasgos, más que una pertenencia geográfica, el color de la piel o la forma del cabello. Mongoloides se observan en Mongolia, noreste de Asia y también en América nativa. A su vez, negroides encontramos en África tropical, el sur de la India (vedas), Australia aborigen y en grupos afroamericanos. Finalmente, los caucasoides se encuentran dispersos por todo el globo, desde Europa, América, África (subsahariana y del Sur), Australia y Asia (Siberia).

Es obvio mencionar, que ni existen genes raciales específicos ni grupos étnicos o grupos de ascendencia puros, por lo que se encuentra casi siempre una mezcla de características biológicas, incluso en los hallazgos individuales, que a veces parecen neutrales. Además se observa una variedad biológica considerable entre los grupos.

Los estudios poblacionales realizados por los antropólogos Woo, Morant, Debetz, Alexeev, Howells, Gill y Rhine, entre otros [55] evidencian que los principales rasgos

craneométricos diferenciadores son las medidas de proyección, cuyos ángulos se obtienen con el compás de coordinación (simómetro) y el goniómetro (facial) y expresan el grado de pronunciamiento o perfilación del esqueleto facial, huesos nasales, pómulos y porción alveolar.

La cuestión de la afiliación racial es de difícil respuesta ya que si bien su clasificación posee algunos componentes biológicos, se encuentra principalmente basada en afiliaciones sociales. De todas formas, algunos detalles anatómicos, especialmente en el rostro, a menudo sugieren la raza del individuo. En particular, los individuos blancos tienen rostros más angostos con narices altas. Los individuos negros poseen aberturas nasales más grandes y los indios americanos y asiáticos tienen mejillas que se proyectan hacia delante y rasgos dentales característicos. Cuando se dispone del cráneo completo el diagnóstico racial se realiza con facilidad.

El examen microscópico del cabello también indica la raza.

▪ *Sistema dental*

Los antropólogos dentales han sugerido la división de las poblaciones humanas en varios componentes geográficos- raciales de conformidad a la distribución de los rasgos morfológicos del sistema dental. Hanihara planteó la definición del Complejo Dental Mongoloide, y esperaba que también se presentaran los Complejos Dentales Caucasoide y Negroide [56].

Krogman e Iscan [55] realizaron estudios dentales sintetizando los estudios propuestos sobre la variación del sistema dental elaborados por Lasker y Lee [57]. En dichos estudios se establecieron diferencias entre los distintos grupos raciales, tales como que en el maxilar se observa una alta incidencia de la forma bien desarrollada de los incisivos en pala, alcanzando un 85% en chinos y bajas frecuencias en caucasoides y negroides. En los mongoloides se aprecian raíces cortas de los incisivos, es frecuente la hipodontia (ausencia congénita de dientes) y perlas de esmalte oclusal en premolares. Las raíces de los molares están con frecuencia fusionadas, menos extendidas y más cortas. La cúspide de Carabelli se evidencia en un porcentaje superior al 37% en caucasoides, es menor entre la población bantu (África) y casi ausente en esquimales. El ensanchamiento de la cavidad pulpar acompañado de raíces

fusionadas o taurodontismo, se ve con muy poca frecuencia en caucasoides; cuando está presente en mongoloides se observa una forma de reloj de arena o piramidal

Por su parte, A.A. Zoubov [58], Zoubov y Jaldeeva [59] propusieron la delimitación dental de las poblaciones mundiales en dos complejos: el Complejo Dental Oriental y el Complejo Dental Occidental. El primero equivale al Mongoloide de Hanihara; el segundo al Caucasoide y Negroide del mismo autor.

Es importante cuando nos encontramos ante variantes raciales del mismo complejo incluir otros rasgos como el apiñamiento (crowding) de los incisivos laterales superiores, la rotación de los incisivos superiores centrales (winging), etc.....

Como podemos observar en la Figura 3 el arco dental también tiene diferencias: el arco dental de individuos con origen en Europa es parabólico, de los africanos es hiperbólico (forma de una U) y en asiáticos es más redondeado o elíptico.

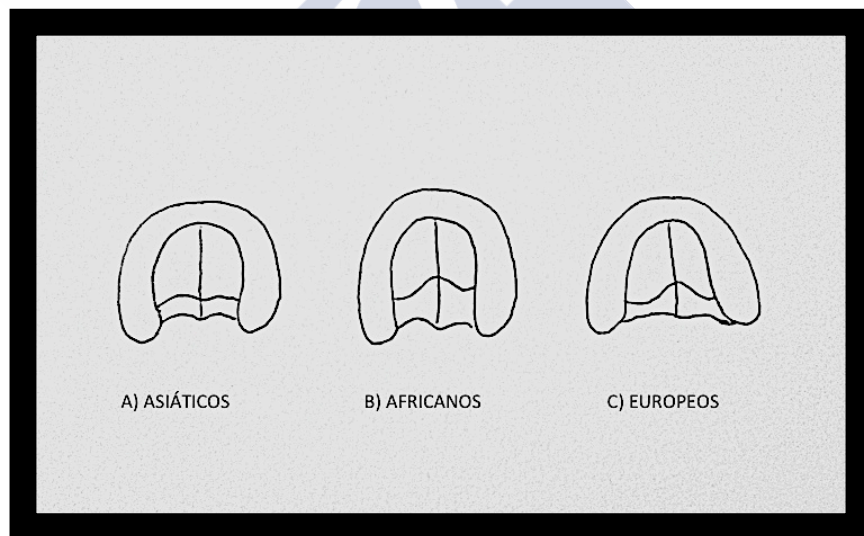


Figura 3. Diferencias raciales en el arco dental

▪ Cráneo

A pesar de las propuestas de dividir las poblaciones mundiales en un sin número de variantes raciales, con el fin de facilitar la investigación forense se ha utilizado

tradicionalmente la división tripartita en tres grandes troncos raciales o complejos: el caucasoide, el mongoloide y el negroide [55,61]. A su vez, los caucasoides se subdividen en nórdicos (Europa Septentrional), alpinos (Europa Central) y mediterráneos (Europa Meridional). No obstante, como lo subrayan Krogman e Iscan en uno de los tratados de identificación de restos óseos más completos publicados hasta el momento, no existen realmente cráneos negroides puros, ni mediterráneos ni alpinos. *"Solamente tenemos cráneos, que con mayor o menor grado presentan una combinación de rasgos que sugieren un stock o categoría racial. En lo que respecta a la hibridación, simplemente no conocemos lo suficiente sobre la genética humana como para insinuar la dominancia o recesividad de un rasgo en el esqueleto"*.

Las características craneales que expresan los ancestros de una población determinada se establecen no mediante un carácter único, irrepetible, sino mediante la combinación del conjunto de parámetros métricos y morfológicos. Los estudios realizados en áreas de contacto entre grupos mongoloides y caucasoides, evidencian que existe una significativa correlación entre las características típicas del complejo mongoloide, tales como el aplanamiento facial, expresado por valores altos de los ángulos frontomalarorbital y cigomaxilar, con un rostro muy ancho (amplia anchura cigomática), una fosa canina plana, una nariz deprimida en su raíz y dorso (ángulo facionasal poco sobresaliente) y el aplanamiento natural del frontal [62,63]. A su vez, los caucasoides resaltan por un rostro perfilado y nariz prominente. Esta acotación metodológica es importante por cuanto podemos encontrar rostros anchos en individuos caucasoides y negroides, pero si este rasgo se encuentra combinado con otros elementos mongoloides implica indudablemente un alto grado de mestizaje.

En un estudio biométrico realizado sobre 4266 cráneos masculinos y 1630 femeninos provenientes de Europa, África, América, Oceanía y Asia, es decir, con una amplia representación de los tres grandes troncos raciales, Woo y Morant encontraron que el grado de aplanamiento del esqueleto facial constituye un excelente elemento diagnóstico diferenciador tanto a nivel intragrupal como intergrupar [62].

Odd y Tracy elaboraron en 1930 (citados por Krogman e Iscan [55]) una propuesta metodológica para diferenciar a nivel craneológico los grupos negroides de caucasoides. Empleando cinco rasgos descriptivos con dos variantes contrastadas que denotaba, según los autores, la filiación racial:

1. Arcos superciliares: en forma de M u ondulados
2. Borde superior orbital: angulado o romo
3. Glabella: redondeada o deprimida
4. Unión frontonasal: plana o prominente
5. Distancia interorbitaria: angosta o ancha

Los negroides típicos presentan unos arcos superciliares ondulados, borde supraorbitario angulado, glabella redondeada, una unión frontonasal plana y una gran distancia interorbitaria (Tabla 4). A su vez, los caucasoides poseen arcos supraorbitarios en forma de M, borde supraorbitario romo, glabella deprimida, unión frontonasal sobresaliente y una distancia interorbitaria angosta.

Tabla 4. Rasgos descriptivos craneales de los tres grupos raciales.

REGION	CAUCASICO	NEGROIDE	MONGOLOIDE
Apertura nasal	Estrecha elongada	Ancha	Redondeada
Órbitas	Triangulares	Cuadradas	Redondeadas
Prognatismo	No	Alveolar	No
Paladar	Triangular	Rectangular	Redondeado
Malares	No prominentes	No prominentes	Prominentes
Dientes	No característicos	No característicos	Incisivos en forma de pala

Podemos resumir diciendo que la mayoría de las diferencias entre los grupos étnicos se dan en la apertura nasal, especialmente la raíz, el puente, la espina, el borde inferior y la forma de la apertura nasal. La raíz está ubicada en la región del nasion, donde el nasal se reúne con el frontal (Figura 4). El puente inicia en la raíz y esta formado por los nasales. La espina, ubicada en la parte central inferior de la apertura es saliente y frágil y por eso no común en los hallazgos forenses o históricos. En el borde inferior de la nariz se encuentra una variedad de formas de un borde bajando hasta la formación de un “nasal

sill”, que forma una pared afilada. También la apertura nasal varía bastante en su forma y tamaño.

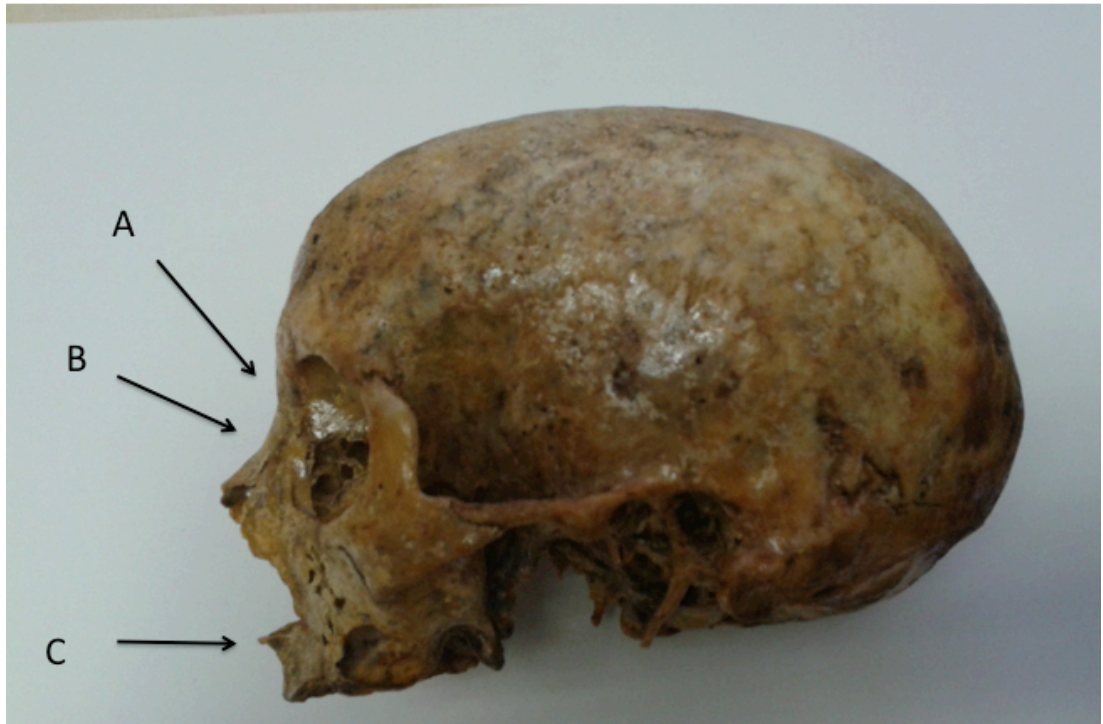


Figura 4. Vista lateral del cráneo mostrando A) la raíz, B) el puente, y C) la espina de la nariz según Byers [64].

▪ ADN.

Los análisis de ADN se fundamentan en el mismo principio que soporta a otras disciplinas forenses que laboran en el campo de la identificación de personas: “La diversidad humana”. Del mismo modo que el dactiloscopista, el patólogo, el odontólogo o el antropólogo buscan en el cadáver rasgos anatómicos que puedan constituirse en indicios de identidad, las pruebas genéticas detectan variantes de ADN en las personas, que constituyen códigos de identidad prácticamente individuales.

Sabemos que el ADN está formado por cadenas de bases nitrogenadas que se complementan en parejas. Esta secuencia de bases nitrogenadas es única en cada individuo y tiene un significado en la función celular; además puede hacer que se

fabrique, por ejemplo, un determinado enzima que sea responsable de la creación de melanina y, por tanto, sea responsable de la pigmentación de la piel.

A este tipo de secuencias de ADN, que tienen un efecto correspondiente sobre el fenotipo del individuo, se les conoce como “ADN expresivo o codificante”. Entre ellas se han detectado muchas regiones polimórficas pero no son usadas por los científicos forenses ya que podrían arrojar información adicional a la de identidad que no sea pertinente a la investigación judicial y generar conflictos éticos. Por tal razón los genetistas forenses solamente analizan secuencias de ADN polimórficas “No expresivas”, como los Microsatélites o STR’s (Short Tandem Repeats), el ADN mitocondrial o los SNP’s (Single Nucleotide Polymorphisms).

Aunque es posible estimar el origen geográfico más probable de la variación de un particular polimorfismo o de un perfil, es importante recalcar que esta probabilidad no es sinónimo de la población de origen más probable de una determinada persona [65,66].

Es necesario ser particularmente precavido al utilizar la pigmentación de la piel como un factor del que se pueda inferir la ascendencia.

Es posible estimar la ascendencia de una persona en base al análisis de ADN, con un razonable número de marcadores genéticos. Pero se plantea la cuestión de cuántos SNPs se necesitan para inferir la ascendencia con fiabilidad. Debe realizarse un screening mundial poblacional a fin de evaluar el potencial de SNPs específicos para la estimación de ascendencia, no necesariamente ligados a características físicas ligadas a una determinada población.

4.2.3.2. DETERMINACIÓN DEL SEXO

La determinación del sexo es de una fiabilidad de casi un 100% cuando se dan dos circunstancias: poseer el cadáver entero y que los restos sean de un adulto. Además, la identificación sexual de unos restos cadavéricos es posible y mucho más sencillo cuando se dispone de los huesos de la pelvis, cráneo o de los fémures. En cualquier caso, existen unos rasgos comunes que proporcionan una orientación. El esqueleto femenino es más grácil y fino que el masculino. En el varón, las crestas de inserción muscular están más

marcadas y los canales para el paso de tendones son más profundos; las articulaciones son más gruesas, pero todo ello dependiendo siempre de la edad del sujeto [67].

En el adulto, la determinación más simple y más exacta del sexo se puede hacer a través del gravamen morfológico de la pelvis. Los huesos púbicos y la muesca ciática son más anchos en las mujeres, dando por resultado un ángulo subpúbico obtuso y con una entrada pélvica más abierta para facilitar el parto. La pelvis masculina es más estrecha y construida solamente para la ayuda y la locomoción.

Un conocimiento cuidadoso de la morfología craneal puede permitir que los expertos se acerquen a la exactitud de 90 o 95%. Sin embargo, es necesario que el observador esté familiarizado con las variantes específicas de la población, porque las características ligadas al sexo varían a partir de un grupo a otro. Generalmente sin embargo, los varones tienden a tener huesos más ásperos con crestas y cantos más grandes, porque éstos son a menudo sitios de acceso del músculo. Los nuevos estudios han llevado al descubrimiento de que la mandíbula es casi tan útil en la diferenciación por sexos como una pelvis completa. Loth y Heimeberg observaron que en varones adultos el ramus posterior tiene una forma angular o una flexión distinta en el nivel de la superficie oclusal de las muelas, mientras que las mujeres lo conservan recto [68].

La cuantificación de las diferencias del tamaño permite a veces un grado de separación razonable de los sexos. Aunque haya un número de técnicas métricas del cráneo y de la pelvis, este tipo de análisis es especialmente útil en huesos largos donde no se pueden observar las obvias diferencias morfológicas. Las fórmulas de la función discriminante se han calculado de las dimensiones de huesos numerosos y de sus subestructuras, pero estos métodos son altamente específicos para la población, incluso dentro de los tres grupos de razas principales. Los indios asiáticos son, por ejemplo, Caucasoides, pero ellos son perceptiblemente más pequeños y más gráciles que los blancos americanos o europeos. Así, serían métricamente mal diagnosticados la mayoría de los varones indios como hembras, si se utilizan los estándares americanos. De aquí la importancia de realizar estudios propios de cada tipo de población. Al realizar este tipo de estudios se determinó que la longitud total de un hueso largo no es generalmente tan

buen discriminador como el diámetro principal, la circunferencia del eje, o la anchura epifisaria distal.

Durante muchos años, los biólogos esqueléticos han intentado encontrar la evidencia de la maternidad en la pelvis. Se sabía que el embarazo y el parto están asociados al rasgado y al reacoplamiento de los ligamentos en la superficie dorsal del hueso púbico. Houghton y Dunlap apoyaron este concepto y lo aplicaron al surco pre-auricular [69,70]. Sin embargo, otras observaciones han revelado que hay marcas similares en las hembras sin hijos, llegando a la conclusión de que hay otros factores que también pueden ser responsables para estas formaciones.

También se demostró el dimorfismo en el nivel de las longitudes de las manos y los pies [71]. En este análisis es importante conocer la población a la que pertenece el individuo y realizar investigaciones específicas de esta población (ya que cada grupo de población tiene unas proporciones diferentes del cuerpo, con el fin de hacer comparaciones y obtener el perfil biológico esperado).

Actualmente tenemos varios estudios específicos para ciertas poblaciones, en las que se determina el sexo de los restos de esqueletos de otra manera. Siguiendo un orden cronológico, podemos destacar el trabajo de autores como Robling et al., que garantiza obtener la determinación del sexo basada en el análisis de los metatarsianos, desarrollando fórmulas para diferentes personas y afinidad a población negroide y caucásica [72]. Posteriormente se consiguió determinar el estudio de diversos aspectos de los pies, es decir, con el tejido blando. Otros autores llevaron a cabo medidas relacionadas de diferentes segmentos corporales, con la presencia de tejido blando: Danborn et al. llevó a cabo un estudio sobre la longitud de la mano y del pie [71] y Mountrakis et al., igual que el primer autor hace referencia a dicha determinación del sexo de los metatarsianos [73]. Saini et al. realizan el cálculo basado en el dimorfismo sexual craneofacial [74]. Finalmente, Kranioti et al. [75] estudian el húmero para lograr la determinación del sexo.

- Cráneo

En la adolescencia tardía los cambios en el esplanocráneo se restringen aparentemente a los hombres mientras que las mujeres retienen su aspecto juvenil. El rostro masculino se alarga, los arcos superciliares (incluyendo los senos frontales) se agrandan y el mentón se hace más prominente y cuadrangular. Al incrementarse el grosor de los arcos superciliares decrece la altura orbital, su borde superior se torna grueso y la órbita en general adquiere una forma cuadrangular. La escotadura supraorbital se torna más profunda y puede desembocar en un agujero (foramen). Estos cambios conllevan también a modificaciones en la raíz y en el caballete nasal, conduciendo a un descenso abrupto en la línea que une el frontal con los huesos nasales en el punto nasion.



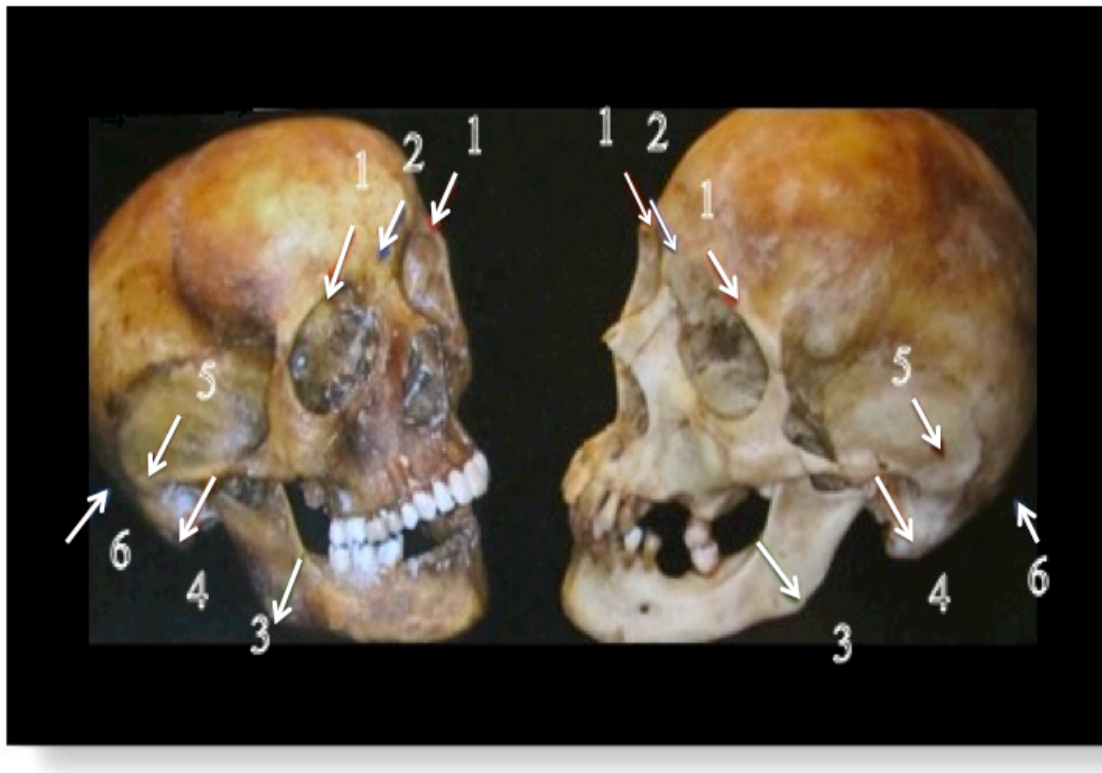


Figura 5. Diferenciación sexual en el cráneo. Modificado de Knight's Forensic pathology [66]. Cráneo de la izquierda perteneciente a una mujer y el de la derecha a un varón.

- 1-Arcos superciliares
- 2-Glabela
- 3-Área gonial
- 4-Proceso mastoideo
- 5-Hueso temporal
- 6-Protuberancia occipital externa

En esta imagen (figura 5) podemos observar las diferencias morfológicas óseas más evidentes entre un cráneo masculino y femenino. Los arcos superciliares y la glabella son muy marcados en el varón y débiles en la mujer. La eversión gonial es ligera en el caso de la mujer y pronunciada en el hombre. El proceso mastoideo es pequeño en la mujer y grande, voluminoso y con la punta vertical en el caso del hombre. Y el hueso temporal y la cresta occipital en el hombre es más grande y pronunciada que en la mujer que incluso a veces no presenta protuberancia occipital.

En la siguiente imagen (Figura 6) podemos observar como varían determinadas características a nivel morfológico en el cráneo entre ambos sexos según Buikstra y Ubelaker [76]. La protuberancia occipital externa y las apófisis mastoides acostumbran a ser de mayor tamaño en el hombre, y en el caso de estas últimas, cuando se observa el cráneo por la parte superior, quedan a la vista. Los arcos y el borde supraorbital son más prominentes y gruesos en el hombre, y el mentón en el caso de las mujeres, es mucho más redondeado y grácil. Las mandíbulas masculinas son más robustas por norma general.

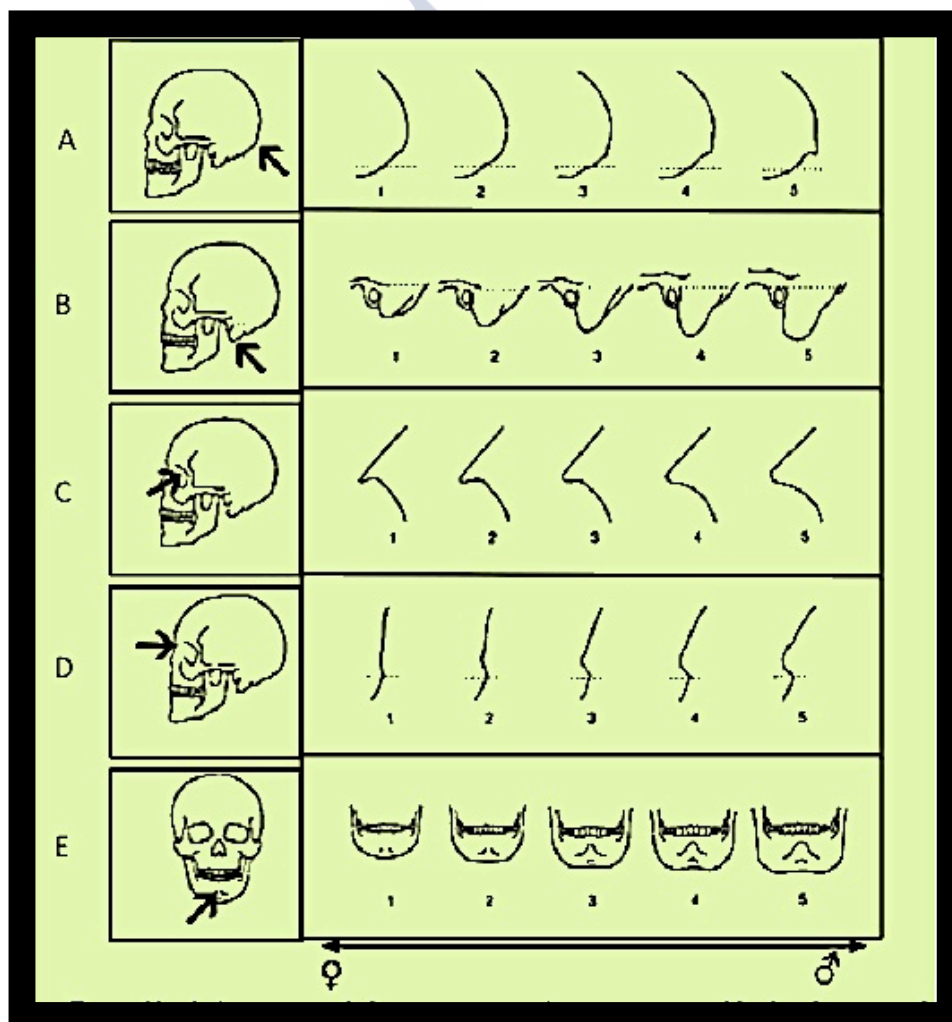


Figura 6. Imagen modificada de Krenzer [60]. Expresión de las características A) cresta nuchal, B) proceso mastoide, C) borde supraorbital, D) arco supraorbital y E) prominencia del mentón según Buikstra y Ubelaker [76]

▪ Determinación del sexo a partir del agujero occipital (Holland [77]):

La base craneal, especialmente la región occipital comprendida por el agujero occipital y los cóndilos occipitales conforman una región diagnóstica diferenciadora del patrón racial [78] y del dimorfismo sexual [79], a partir de una serie de dimensiones de los cóndilos (MWC, MLC), su distanciamiento (MnD, MxID, BcB) y del agujero occipital (LFM, WFM). Sin embargo, en virtud de que los resultados de las investigaciones se han obtenido de un grupo geográficamente homogéneo y limitado (St. Louis, Missouri), los datos y parámetros propuestos hay que aplicarlos con precaución. Su utilización es válida en fragmentos craneales que han conservado esta área intacta y no existan otras fuentes de información.

Medidas utilizadas:

1. Longitud del cóndilo occipital (MLC). Longitud máxima del cóndilo izquierdo, obtenido en todo su eje longitudinal, extendido de borde a borde.
2. Anchura del cóndilo occipital (MWC). Anchura máxima del cóndilo izquierdo medido perpendicularmente al eje anterior, de borde a borde articular.
3. Distancia mínima entre los cóndilos (MnD). Distancia mínima entre los bordes mediales de las superficies articulares de los cóndilos.
4. Anchura bicondilar (BcB). Distancia máxima entre los bordes laterales de las superficies articulares de los cóndilos.
5. Distancia interior máxima entre los cóndilos (MxID). Distancia máxima entre los bordes articulares mediales (equivalente a la anchura intercondilar).
6. Longitud del agujero occipital (LFM). Longitud interna máxima del agujero occipital en el plano sagital medio entre endobasion y opisthion.
7. Anchura del agujero occipital (WFM). Anchura interna máxima, perpendicular a la medida anterior
8. Longitud del proceso condilar (LBP). Longitud máxima del proceso basilar medida entre el basion hasta el punto medio de la sutura esfenobasilar.
9. Distancia entre los agujeros poscondilares (canal condilar posterior) (DF).

En un estudio realizado en cráneos brasileños, Teixeira (citado por Krogman e Iscan [55]) encontró que al tomar la semisuma de los diámetros del foramen magnum en calidad de

diámetro de un círculo, el área de la superficie en los individuos masculinos arrojó una cifra igual o superior a 963 mm²; en los femeninos igual o inferior a 805 mm².

▪ Pelvis

La pelvis adulta es el mejor indicador del sexo. En la adolescencia la pelvis femenina se ensancha como una medida de preparación para el parto, alterando la forma y el tamaño de muchas de sus partes, convirtiendo la cintura pélvica en un indicador fidedigno al finalizar la metamorfosis. De conformidad con el dimorfismo sexual, las mujeres poseen un cuerpo de menor tamaño que el hombre y, por tanto, un pubis y toda la pelvis generalmente más delgada y ligera; horizontalmente observan mayor extensión mientras que verticalmente es más corta.

Hasta la adolescencia la cintura pélvica presenta el mismo tamaño y forma en hombres y mujeres. En estado adulto la pelvis masculina es básicamente una continuidad de la forma juvenil. El lapso de edad en que ocurren los cambios pélvicos es muy variable; la sínfisis púbica femenina se aprecia algunas veces en niñas de edad dental de 8-9 años pero se generaliza hacia los 14-15 años, cuando comienza a fusionarse el acetábulo y erupcionan los segundos molares permanentes.

Según Greulich y Thomas (citados por Hoyme e Iscan [80]) las pruebas radiográficas sugieren que este período se extiende aproximadamente 18 meses y finaliza hacia los 15 años.

Las diferencias sexuales se hacen más evidentes en la parte anterior de la pelvis puesto que los cambios ocurren solamente en la terminación medial del pubis. En la parte posterior la metamorfosis en la articulación sacro-iliaca afecta a ambos huesos (sacro, ilion) y los cambios son más variables [81]. El crecimiento adicional de la superficie medial de la sínfisis púbica ensancha el canal pélvico de las mujeres, configurando un arco subpúbico ancho y redondeado (Figura 7). Por lo general después de la fusión de la rama isquiopúbica, usualmente hacia los 7-8 años, no se aprecian otros centros de crecimiento en la porción anterior de la pelvis. Tampoco se manifiestan, según Hoyme e Iscan, signos de alargamiento en la terminación acetabular del pubis, que también inicia su proceso de fusión hacia la misma edad. Como consecuencia de estos cambios el arco subpúbico femenino es abierto y redondeado (en los hombres conforma un ángulo agudo),

la sínfisis es proyectada y cuadrangular con una pequeña área triangular de hueso adicional en su margen antero inferior, y un evidente aplanamiento de su rama anterior (Figura 7). A su vez, la sínfisis púbica masculina es gruesa, corta y más triangular. Finalmente, como resultado de la reabsorción del borde medial del agujero obturador, más que por el alargamiento del pubis, su forma triangular es más común en las mujeres de edad.

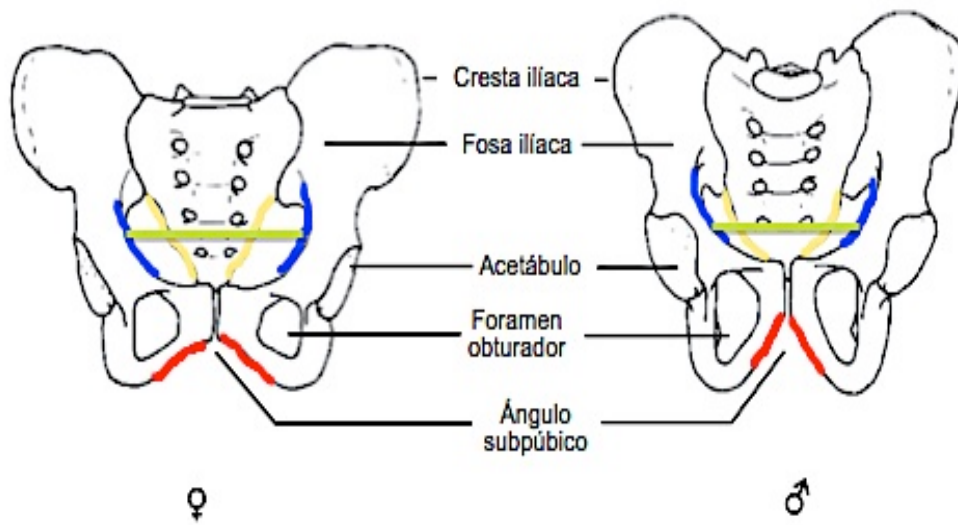


Figura 7. Características de la pelvis ósea. Modificado de Krenzer [60]

1. El diámetro transversal de la cavidad pélvica de la mujer (pintado en verde) es mucho mayor que el del hombre. Hecho totalmente necesario para que la cabeza y los hombros del feto puedan pasar cuando se desencadene el parto.
2. Las espinas ciáticas (las protuberancias óseas que salen rodeadas de amarillo) son mucho más grandes en el varón y se observa como se encuentran muy cerca del cóccix.
3. El ángulo subpúbico es mucho más amplio en la mujer que en el hombre.

Iscan y Derried en 1984 (citados por Krogman e Iscan [55]) desarrollaron un método visual para la determinación sexual en la articulación sacroilíaca, que relaciona la mitad posterior del ilion y su articulación con el sacro. Las diferencias sexuales en tres estructuras analizadas presentan, según los autores, la siguiente dicotomía diferencial:

1. Surco preauricular. En los individuos masculinos es muy raro. En las mujeres es profundo, ancho y abarca una gran extensión del borde auricular. Este surco puede desaparecer con la edad cuando se colapsa la elevación auricular.

2. Espacio posauricular. En los masculinos es angosto; ocasionalmente se puede presentar una superficie articular adicional localizada en la parte superior de la tuberosidad ilíaca que tiene forma ondulada. En las mujeres el espacio es muy grande; los dos huesos no tienen contacto mutuo excepto en la superficie auricular.

3. Tuberosidad ilíaca. En el hombre se aprecia una estructura ondulada. En las mujeres es más variable pero no incluye la forma ondulada; generalmente, es aguda o puede estar ausente. Si ocurre éste último fenómeno se manifiesta una gran fosa y la tuberosidad ilíaca se extiende a lo largo de la cresta.

Los estudios sobre el dimorfismo sexual en el acetábulo del coxal han deducido que éste es menor en tamaño y ubicado en una disposición más frontalizada en los individuos femeninos.

El sacro constituye otro hueso de particular interés para el diagnóstico del sexo en virtud de su situación posterior en la cintura pélvica. Durante la adolescencia temprana cuando se fusionan las partes laterales con el cuerpo, el único sitio que incrementa la anchura pélvica posterior y ensancha a su vez el sacro, son las superficies alares de este hueso.

La presencia de elementos epifisiales en los bordes laterales del sacro, con módulos similares en la correspondiente superficie de articulación ilíaca refuerza el planteamiento sobre el área de mayor crecimiento en el sacro. En consecuencia el sacro femenino es más angosto y tiene un índice de basewing de Kimura (anchura del ala / anchura de la base por 100) mayor en los tres grandes troncos.

Buikstra y Ubelaker publicaron los siguientes esquemas para la determinación del sexo mediante la pelvis [76]. En la Figura 8 podemos observar las diferencias morfológicas del surco preauricular del coxal, en la mujer es profundo, claro y está separado; y en el hombre es llano, incluso hasta puede estar ausente.

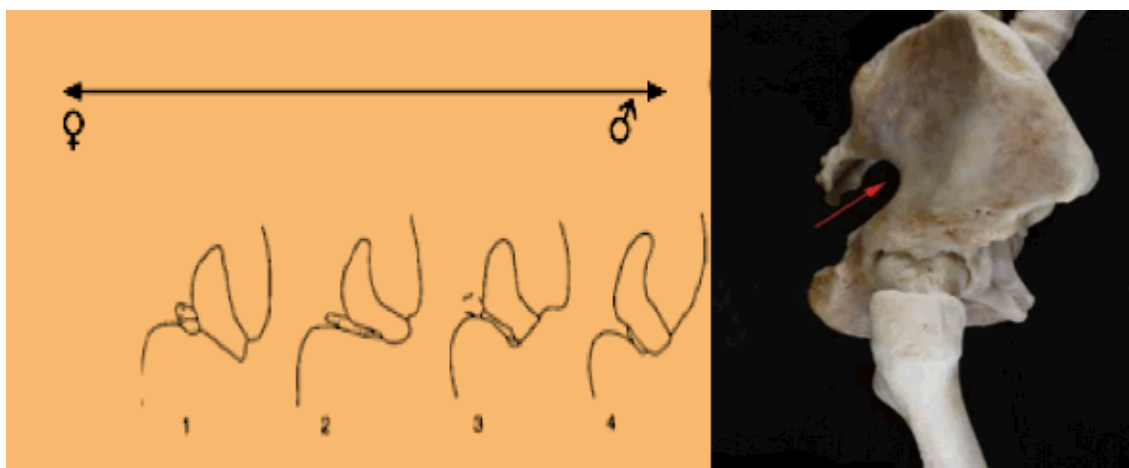


Figura 8. Expresión del surco preauricular en el coxal derecho según Buikstra y Ubelaker [76]. Modificado de Krenzer [60].

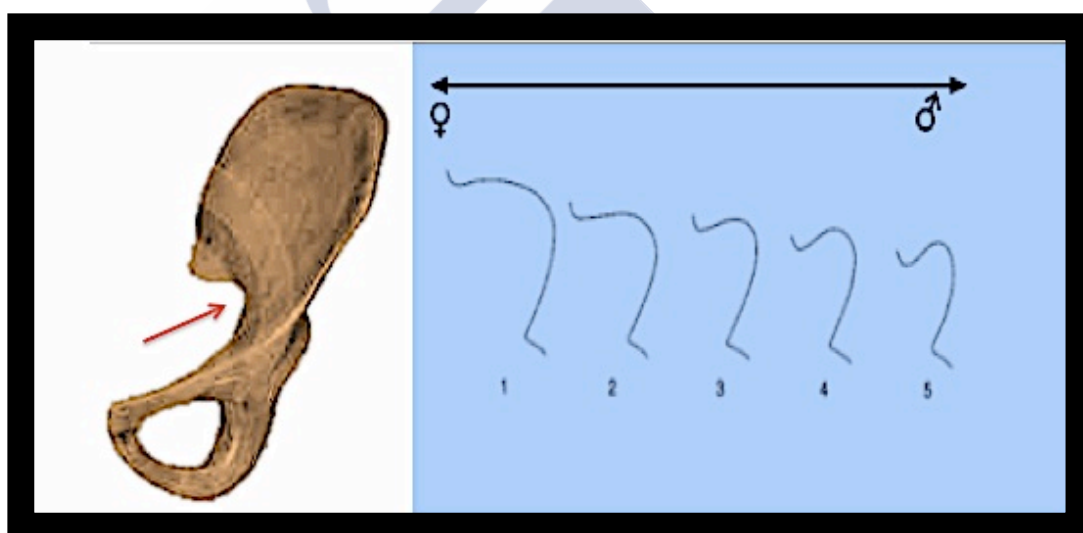


Figura 9. Expresión de la escotadura ciática mayor en el coxal izquierdo .
Diferenciación morfológica (modificada de Krenzer [60])

La escotadura ciática mayor es uno de los criterios más fiables en la determinación del sexo (Figura 9). En la mujer es mucho más extensa con forma de U, sin embargo en el hombre es estrecha y con forma de V [81].

La determinación de los partos en la pelvis femenina es de vital importancia en los procesos de identificación utilizados por la Antropología Forense. Se ha demostrado que la superficie dorsal del pubis y el surco preauricular son quizá los mejores indicadores de los partos a término, dentro de todos los rasgos morfológicos. Ulfrich (citado por Krogman e Iscan [55]) ha desarrollado un método que incluye varios estadios, de acuerdo al número de hoyuelos en el piso del surco, la anchura y la conformación de los bordes del mismo; también analiza el borde antero-lateral de la superficie auricular, de acuerdo a la forma y dimensiones de los surcos y depresiones. Algunos autores como Angel y Nemeskeri opinan que se puede diagnosticar el número de partos de acuerdo a las características anatómicas descritas anteriormente y al número y profundidad de los hoyuelos en la superficie interna del pubis producidos por hematomas subperiosteales durante el parto (descritos anteriormente por Putschar; citado por St. Hoyme e Iscan, [80]). Sin embargo, como ya hemos citado anteriormente, otras observaciones han revelado que hay marcas similares en las hembras sin hijos, llevando a la conclusión de que hay otros factores que también pueden ser responsables para estas formaciones.

- Vértebras cervicales

A diferencia de la amplia gama de estudios cualitativos y cuantitativos para determinar el sexo con otro tipo de huesos, las vértebras no han sido objeto de tanta atención, los estudios publicados hasta ahora son escasos.

Aunque como hemos visto en el epígrafe anterior, los huesos de la cadera son un indicativo muy fiable a la hora de determinar el sexo, podemos encontrarnos en situaciones, en los que éstos están en muy malas condiciones, o directamente no aparezcan. Por ello la necesidad del estudio de huesos pequeños como las vértebras cervicales para la estimación del sexo.

El índice de Baudoin quizás sea uno de los primeros estudios en que se utilizó el atlas para obtener datos matemáticos sobre el sexo de un individuo [17]. Uno de los estudios más actuales sería el de Cunha en el que se realizan medidas en segunda vértebra cervical

en 190 huesos procedentes de una colección esquelética portuguesa en Coimbra, con el fin de cuantificar la variación relacionada con el sexo [82].

También se han llevado a cabo estudios con otros huesos pequeños para la determinación sexual como los huesos del pie [83,84], ya que en repetidas ocasiones no se tiene la posibilidad de poseer el cráneo, huesos de la cadera...

- ADN

La mayoría de las muertes de conflicto armado son hombres. Las estadísticas de criminalidad en todos los países vinculan al varón con los crímenes violentos, tanto en el papel de agresor como en el de víctima. Más del 90% de homicidios y más del 99% de los delitos sexuales en el mundo son cometidos por hombres [65].

El escenario anterior supone que si se cuenta con una herramienta pericial dirigida a identificar víctimas o agresores del sexo masculino, ella constituiría una ayuda muy significativa en los laboratorios de genética forense. Existe un marcador natural del sexo masculino que es el cromosoma Y. En él, es posible detectar polimorfismos de ADN de diferentes tipos. Entre ellos destacamos los microsatélites o STR -Y (16).

La determinación del sexo osteológico no es tan sencillo como parece. Existe una gran variabilidad cronológica y demográfica entre poblaciones que produce un rango de congruencia entre las características analizadas. Sin embargo el análisis de los cromosomas brinda resultados con un mínimo margen de error, siempre y cuando se lleve a cabo una investigación avanzada en los laboratorios específicos.

Las piezas dentarias además del estudio de su morfología para la determinación del sexo, contienen además la información genética a través del ADN, que se puede analizar detalladamente en laboratorios específicos con fines de identificación; siempre y cuando exista material comparativo de familiares. Para el análisis se requiere dientes sin tratamiento odontológico y que no presentan caries profunda para no afectar la pulpa dentaria.

De los restos óseos también es posible la obtención de ADN, siempre y cuando estén en

unas condiciones mínimas para poder extraer un fragmento y realizar los diferentes procedimientos para su extracción (pulverización, descalcificación...). Por lo que el estudio del ADN también es una opción en la identificación sexual de los restos.

4.2.3.3. DETERMINACIÓN DE LA EDAD

Encuentra su fundamento en las sucesivas transformaciones que el sistema óseo experimenta en su evolución. La estimación de la edad es la primera y más complicada operación que se ejecuta en el método de reconstrucción biológica o paleoantropológica. Con este fin, se utiliza no un rasgo en particular sino el conjunto de características orientadoras de la edad, subrayando el hecho de que se refiere a la edad biológica y no a la cronológica; es decir, tiene en cuenta el estado de formación y consolidación del tejido óseo y dental. Este aspecto se encuentra influido por distintos factores, entre ellos la actividad física del individuo y el estado de salud-enfermedad que inciden primordialmente, además de las diferencias sexuales y raciales.

Desde el nacimiento hasta la adolescencia, la edad se puede diagnosticar con gran aproximación mediante la observación de la forma y el estado de metamorfosis de los centros de osificación, la formación y erupción dental y la progresión en el cierre epifisial, como también por la longitud de los huesos largos [55,85]. El esqueleto experimenta una evolución desde el estado embrionario hasta los 30 años en la que comienza una etapa regresiva. Esta evolución comienza con la aparición de los núcleos de osificación en el feto, el cierre de las fontanelas y la aparición de los núcleos de osificación en las epífisis. Después empieza un crecimiento en longitud de los huesos y la soldadura de la epífisis con la diáfisis (22 años de edad aproximadamente). A partir de aquí aparece una etapa regresiva con la soldadura de las suturas craneales, modificaciones en los huesos y osificación de los cartílagos.

La estimación de la edad es más probable de ser exacta cuando se trata de restos esqueléticos de personas que no han alcanzado su madurez biológica o de adultos jóvenes. Las edades varían entre distintas poblaciones y ambos sexos. La osificación es más temprana en las niñas que en niños, con un margen que oscila entre los dos a seis años. Dentro del mismo esqueleto algunos huesos y algunas epífisis se cierran en distintos

períodos. Así, el fémur crece principalmente a expensas de la epífisis distal, mientras que la proximal es poco activa. Por el contrario, el húmero crece gracias a su extremo proximal. Los huesos del antebrazo crecen básicamente hacia la muñeca, mientras que la tibia y el peroné crecen por igual hacia la rodilla y el tobillo. Los huesos carpianos de la mano y los tarsianos del pie crecen continuamente de afuera hacia el centro [86]. La madurez biológica se alcanza inicialmente en el tobillo y en la cadera, continúa con la rodilla y el codo y finaliza con el hombro y la muñeca.

En niños y adolescentes también es muy útil la estimación de la edad mediante el estudio dental, formación y erupción. Se resolvió que la mejor manera de realizar este estudio era analizando independientemente cada diente y posteriormente establecer el promedio de todas las edades que corresponde a la edad asignada [87].

En individuos adultos se estableció que para la estimación de la edad era más útil el estudio de los siguientes huesos:

- La pelvis

El coxal o hueso innominado en la terminología inglesa, se compone de tres huesos separados: el ilion, ubicado en la parte superior; el isquion, postero-inferior o dorsal; el pubis, anterior o ventral. Según Mckern y Stewart en 1957, (citados por Krogman and Iscan [55]) esos tres elementos primarios de la pelvis se fusionan en el acetábulo hacia los 13 años de edad en las niñas y a los 14 en los niños. La unión final del isquion y el pubis en el ángulo postero-inferior del agujero obturador, y del ilion e isquion en la escotadura ciática se presenta hacia los 17 años. La epífisis ilíaca o labio de la cresta ilíaca, centro secundario de osificación localizado en su porción externa, aparece alrededor de los 12 años en niñas y 13 en niños. Su obliteración se inicia hacia los 17 años y se completa cerca de los 23 años de edad.

La pelvis es un excelente foco de estimación de la edad por las siguientes cualidades:

1. La aparición de los centros ilíaco e isquiático está correlacionada con la pubertad y la adolescencia temprana.
2. La fusión de los centros está correlacionada con la edad adulta temprana.

3. La sínfisis púbica se correlaciona con el vigor alcanzado en las décadas tercera, cuarta y quinta de la vida de los individuos. Además, esos periodos corresponden aproximadamente con la metamorfosis en otras partes del cuerpo:

- Con el codo y posiblemente la obliteración de la sutura esfeno-basilar;
- Con la muñeca, el hombro, la rodilla y la terminación esternal de la clavícula;
- Está también correlacionada aunque en menor medida con el cierre sutural.

▪ La superficie auricular del ilion

Mientras que el grado de exactitud en la estimación de la edad de individuos infantiles y jóvenes oscila entre unos pocos meses hasta dos o tres años, el margen de error en adultos varía ampliamente en dependencia de su situación nutricional, el tipo de profesión y el sexo. La mayoría de criterios existentes para el diagnóstico de la edad en adultos tiene sus limitaciones y son casi inaplicables en individuos mayores de 50 años. Los estudios realizados por Lovejoy et al. en 1985 en las colecciones óseas de Todd (Cleveland Museum of Natural History) y Libben (Kent State University), como también en varios casos forenses concretos de la Cuyahoga County Coroners's Office, evidencian que existe una fuerte correlación entre la edad y la metamorfosis de la superficie auricular del ilion, con la gran ventaja de que la conservación de esta articulación es mayor que otras partes del cuerpo por estar muy bien protegida y, por tanto, se puede apreciar en especímenes incinerados y mayores de 50 años de edad [88].

Schunke observó en 1938 que el grosor del cartílago sacro varía entre 1 a 3 mm, mientras que el del ilion es menor a 1 mm; por su parte, el primero es primariamente hialino entre tanto el segundo es básicamente fibroso con algunos islotes de cartílago hialino [89]. Este último fibrocartílago posee una disposición columnar a lo largo del eje dorsoventral de la superficie; con la edad la proporción del fibrocartílago se incrementa tornando la superficie áspera, saburrosa y desgastada. El anquilosamiento de la articulación sacro-ilíaca se presenta generalmente en individuos masculinos mayores de 50 años.

La siguiente es la terminología utilizada en el estudio de Lovejoy et al. [88]:

- La superficie auricular. Representa el área del hueso subcondral que forma la porción ilíaca de la articulación sacro-ilíaca. No se tiene en cuenta la porción sacra de la misma articulación.
- Semicaras. La forma de la típica superficie auricular se asemeja a un bumerang, con el ápice en la unión de la superficie con la terminación posterior de la línea arqueada, delimitando la semicara superior. La respectiva semicara inferior se ubica por debajo de esta área.
- El ápice. Descrito como el área de contacto de la superficie articular con la terminación posterior de la línea arqueada.
- Área retroauricular. Es el área general posterior a la superficie auricular en donde se insertan los ligamentos lumbosacro y sacroilíaco.
- La porosidad. Son perforaciones del tejido subcondral de la superficie auricular; no se debe confundir con la erosión surgida *post mortem* ni con las consecuencias de patologías como la osteopenia e hiperostosis. La microporosidad se define como pequeñas y finas perforaciones; por su parte, la macroporosidad es menos regular, más grande, con perforaciones ovales que oscilan entre 1 a 10 mm de diámetro.
- La granulosidad. Se refiere a la apariencia tosca de la superficie con relación a su fina estructura original. Una superficie sumamente granulosa se asemeja a la del papel de lija fino.
- El ondulado. Tiene en cuenta la presencia o inexistencia de aristas trasversas. El ondulado varía entre una superficie de rasgos regulares grandes hasta unas aristas de grano fino apenas visibles.
- La densidad. Se refiere a la apariencia y no a la cantidad de hueso presente. Una superficie densa es aquella cuyo hueso subcondral aparece compacto, suave, y muestra una significativa ausencia de granulosidad.

Los intervalos de edad de acuerdo a estos rasgos generales propuestos por Lovejoy y

colaboradores [88] son los siguientes (Figura 10):

Fase I: 20-24 años. La superficie luce una textura granular fina y una acentuada organización trasversa. No hay actividad retroauricular, ni apical ni porosidad. La superficie exhibe un ondulado ancho y bien definido dispuesto transversalmente, cubriendo la mayor parte de la misma.

Fase II: 25-29 años. No se observan cambios sustanciales con relación a la fase anterior. El ondulado empieza a perderse y es remplazado por estrías. No hay actividad apical, ni retroauricular ni porosidad. El granulado es ligeramente más tosco. La superficie continúa siendo joven en apariencia debido a la acentuada disposición trasversa.

Fase III: 30-34 años. Ambas semicaras continúan en reposo con alguna pérdida de la organización trasversa. El ondulado se reduce y es remplazado por estrías definitivas. La superficie es más áspera y más granular que en las fases anteriores, sin que se aprecien cambios significativos en el ápice. Pueden aparecer pequeñas áreas de microporosidad y ligera actividad retroauricular. En general el granulado áspero precede y reemplaza al ondulado.

Fase IV: 35-39 años. Ambas semicaras se tornan ásperas y uniformemente granuladas; se reducen significativamente el ondulado y las estrías, aunque estas últimas pueden persistir. La organización trasversa continúa presente pero poco definida. Se observa alguna actividad retroauricular pero usualmente es ligera. Los cambios en el ápice son mínimos; la microporosidad es ligera y la macroporosidad está ausente. Período inicial de la granulosis uniforme.

Fase V: 40-44 años. No se aprecia ondulado y las estrías pueden estar presentes aunque muy vagamente definidas. La superficie es aún parcialmente granular, con significativa pérdida de organización trasversa. Se presentan zonas de densificación que pueden estar presentes en islotes por la pérdida de granulosis. Hay una ligera actividad retroauricular acompañada de macroporosidad ocasional, aunque esta última no es típica. Se aprecian ligeros cambios en el ápice; se incrementa la microporosidad dependiendo del grado de densificación. El rasgo distintivo de esta fase es la transición de una

superficie granular a una densa.

Fase VI: 45-49 años. Se aprecia pérdida significativa de granulosidad que es remplazada por tejido denso. No se evidencian ondulamiento ni estrías ni organización trasversa. Los cambios en el ápice son ligeros o moderados pero ya observables. La microporosidad se pierde total o parcialmente como consecuencia de la densificación de la superficie. Se incrementa la irregularidad de los bordes acompañada de moderada actividad retroauricular y poca o ninguna macroporosidad.

Fase VII: 50-59 años. Como rasgo distintivo resalta la irregularidad de la superficie. La semicara inferior presenta labiación en su porción detrás del cuerpo del coxal. Los cambios apicales son invariables o acentuados. Se incrementa la irregularidad de los bordes. La macroporosidad puede estar presente en algunos casos pero no es un requisito. La actividad retroauricular puede ser moderada o acentuada.

Fase VIII: 60 + años. Superficie no granular, irregular, con signos evidentes de destrucción subcondral. Se pierden definitivamente todos los rasgos de las fases jóvenes: el ondulado, la organización trasversa, las estrías y la granulosidad. La macroporosidad está presente casi en la tercera parte de los casos. La actividad apical generalmente es acentuada pero no es requisito para esta categoría de edad. Los bordes se tornan irregulares y con labiación. La superficie retroauricular se define muy bien a través de osteofitos de relieve bajo o moderado.

Exceptuando el acentuado desarrollo del surco preauricular en los individuos femeninos, la metamorfosis de la superficie auricular del ilion no observa diferencias sexuales. Si esta situación se presenta, entonces la correlación del desarrollo del margen preauricular y el ápice con la edad del individuo, como lo sugieren los autores, debe ser acentuada y por tanto, se pueden despreciar cuando se estima la edad.



Figura 10. Metamorfosis de la faceta auricular. Fases de la 1 a la 8 (Modificado de Krenzer [60])

▪ La sínfisis púbica:

Desde su introducción por Todd en 1920 [11], la sínfisis púbica configura el rasgo anatómico más utilizado en la estimación de la edad del individuo, tanto en casos arqueológicos como forenses. El grado de protección que permite la buena conservación de la sínfisis púbica en huesos bajo tierra, la claridad en la apreciación de su metamorfosis y su propia conformación que la convierten en una especie de epífisis ósea hacen que esta porción de la pelvis posea una gran popularidad en los estudios forenses y arqueológicos.

No obstante, el mismo Todd advirtió sobre las imprecisiones en la aplicación de este sistema de evaluación de la edad, sugiriendo que es más preciso para los intervalos entre 20 a 40 años y por tanto se debe utilizar con precaución y nunca como único criterio de edad. Al aplicarse con otros criterios de todo el esqueleto puede brindar un margen de error de aproximadamente dos a tres años; cercano a los cinco años si se emplea solamente la pelvis.

Estudios posteriores han evidenciado los fallos y las dificultades en la utilización del sistema de 10 fases introducido por Todd [55,90,91].

Así, Brooks en 1955 encontró una sobrestimación de la edad especialmente en la tercera (20-30 años) y cuarta (30-40 años) década [92]. Como resultado, Brooks modificó los límites de edad de Todd proponiendo una disminución de las fases V-VIII en tres años. McKern and Stewart en 1957 percibieron dificultades en la aplicación del método en material óseo de personal militar muerto en la guerra de Corea [93]. Por tal razón, desarrollaron un sistema de tres componentes: dorsal, ventral, borde sinfisial. Sin embargo, éste último presenta dificultades por haber sido diseñado exclusivamente para material caucasoide masculino y joven, además, que no fue verificado en poblaciones de edad conocida. Gilbert y McKern [94] diseñaron un modelo de tres componentes para series femeninas. Suchey et al. en 1979 y Hanihara y Suzuki en el año 1978 encontraron imprecisiones al realizar pruebas de verificación, particularmente entre los 20-40 años de edad [95,96].

Finalmente, al aplicar el método de seriación (selección de series de fases típicas de cada estadio en la metamorfosis cronológica de una superficie) y el sistema de 10 fases de Todd [11], Meindl et al. demostraron su gran aplicabilidad una vez introducidas ciertas modificaciones [98]. Los mayores errores se evidencian en edades superiores, particularmente en virtud de la variación individual a partir de la cuarta década (30-40 años). Aunque no se conocen los efectos del componente racial y sexual el margen de error a juzgar por Meindl et al. [90] se incrementa en las categorías superiores del sexo femenino.

Todd [11] en 1920 estudió una colección de esqueletos pertenecientes a individuos masculinos caucasoides de edad conocida, estableciendo 10 estadios para la estimación de la edad entre los 18 a 50 años. Posteriormente sugirió que los mismos estadios son extensibles a negroides masculinos y caucasoides femeninos, aunque con una diferencia de dos a tres años con relación a los caucasoides masculinos.

Estadio I: 18-19 años. Primera fase postadolescente. La superficie sinfisial se caracteriza por ser ondulada, cubierta de crestas trasversales separadas por surcos bien

definidos; no se observan nódulos de osificación adheridos a la superficie, ni márgenes ni extremidades definidas.

Estadio II: 20-21 años. Segunda fase postadolescente. La superficie sinfisial continúa siendo ondulada, cubierta de crestas transversales pero los surcos comienzan a rellenarse cerca del límite dorsal, con formación de tejido óseo nuevo de textura fina. Esta formación empieza a enrarecer el contorno de las extremidades posteriores de las crestas horizontales. Los nódulos de osificación se pueden fusionar con la cara sinfisial superior. El borde dorsal delimitador inicia su desarrollo sin que afecte las extremidades. Se configura el biselado ventral.

Estadio III: 22-24 años. Tercera fase postadolescente. La cara sinfisial exhibe una progresiva obliteración del sistema de crestas y surcos. Se inicia la formación del plano dorsal; hay presencia de nódulos de osificación epifisial. El borde dorsal se va definiendo gradualmente. Se pronuncia aceleradamente el biselado como consecuencia de la pérdida de densidad ventral; no hay delimitación de las extremidades.

Estadio IV: 25-26 años. Se aprecia un incremento del angulamiento (biselado) ventral, correspondiendo a una disminución en la formación de crestas y surcos. Se completa la definición del reborde dorsal mediante la formación del plano dorsal. Se inicia la delimitación de la extremidad inferior.

Estadio V: 27-30 años. Se aprecia poco o ningún cambio en la cara sinfisial y en el plano dorsal exceptuando algunos intentos esporádicos y prematuros en la formación de la rampa ventral. Se incrementa la claridad en la definición de la extremidad inferior como del reborde dorsal. Se inicia la formación de la extremidad superior con o sin intervención de nódulos óseos epifisiales.

Estadio VI: 30-35 años. Se incrementa la definición de las extremidades; se desarrolla y prácticamente se completa la rampa ventral. Hay retención de la apariencia granular de la cara sinfisial y del aspecto ventral del pubis. También se aprecia ausencia de labiación del borde sinfisial.

Estadio VII: 35-39 años. Se evidencian cambios en la cara sinfisial y en el aspecto ventral del pubis concomitantes a la disminución de su actividad. Aparecen excrescencias óseas en las áreas de inserción de tendones y ligamentos, particularmente del tendón gracilis y el ligamento sacro-tuberoso.

Estadio VIII: 39-44 años. La cara sinfisial es generalmente suave e inactiva al igual que la superficie ventral. El contorno oval se completa total o casi totalmente; las extremidades están claramente definidas. No se distingue el aro de la cara sinfisial ni se evidencia labiación marcada de los bordes dorsal y ventral.

Estadio IX: 45-50 años. Se caracteriza por la formación de un aro más o menos marcado. El borde dorsal está uniformemente labiado mientras que el ventral se observa de una manera irregular.

Estadio X: 50 + años. La cara sinfisial se torna erodada y muestra signos de osificación errática. El borde ventral es más o menos discontinuo. Con la edad se incrementa la desfiguración de la cara.

- *Sinostosis de las suturas craneales*

Las suturas son las líneas divisorias de los huesos craneales; en estado infantil y juvenil se aprecian muy bien porque están completamente abiertas; en la edad adulta se van obliterando paulatinamente hasta su completa sinostosis en la vejez (Figura 11). Además de este proceso natural, el material óseo enterrado bajo tierra puede sufrir modificaciones en virtud del grado de acidez o salinidad del suelo [97]. Algunos autores (McKern and Stewart, 1957; Singer, 1953; Brooks, 1955; citados por Meindl y Lovejoy, [98]) han desestimado el uso del grado de obliteración sutural como un indicativo de edad por considerar errático el proceso de sinostosis. No obstante, Meindl y Lovejoy han considerado su utilidad en calidad de indicador independiente de edad siempre y cuando se le combine sistemáticamente con otros elementos diagnósticos [98]. Igualmente

continúa la discusión sobre el grado de incidencia del sexo y filiación racial en el proceso de sinostosis.

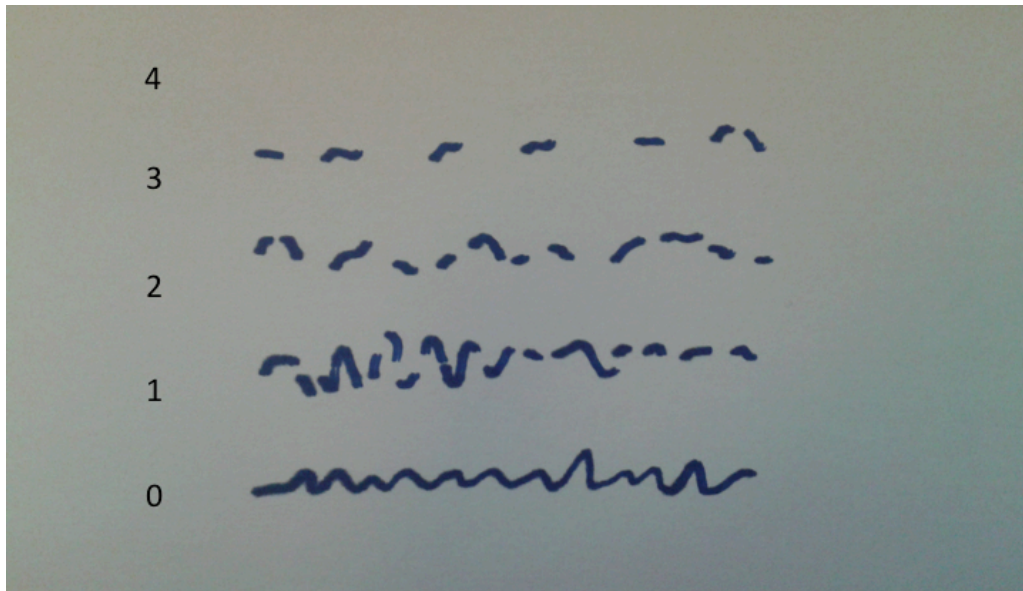


Figura 11. Fusión endocraneal según Herrmann et al. [100]

0 = abierta; 1 = poco obliterado; 2 = obliteración mediana; 3 = obliteración casi completa; 4 = sutura cerrada (sin línea).

▪ Desgaste dental

Normalmente los dientes se desgastan por su uso conduciendo a una reducción paulatina de la superficie oclusal, inicialmente del esmalte, posteriormente de la dentina, abarcando la cavidad pulpar en casos severos, hasta la destrucción total de la corona. El proceso de desgaste dental tiene dos componentes: atrición, que es el resultado del contacto directo diente contra diente y depende en gran medida del grado de robusticidad del aparato masticatorio y de la intensidad y duración del contacto; la abrasión, producida por el contacto con materiales extraños y depende del grado de abrasividad de los alimentos. Así, el maíz u otros granos molidos contienen pequeñas partículas desprendidas durante el proceso de trituración, con alto componente silíceo que genera un desgaste de la superficie oclusal de forma cóncava, cavitando las fosas hasta destruir las cúspides. Además de los factores genéticos que condicionan el grado de dureza del esmalte, inciden el pulido durante el sueño (bruxismo), los hábitos alimenticios y las

costumbres culturales (mascar tabaco, fumar pipa, destapar botellas con los dientes, preparar materiales o sostener objetos mientras se pesca, caza o trabaja). El desgaste también se produce en las superficies de contacto mesial y distal (interproximales) por el contacto entre dientes adyacentes por el movimiento durante su uso.

A pesar de que el desgaste dental ocurre durante la vida del individuo, la naturaleza de su variación ha dificultado la medición y correlación con la edad de la persona. Desde la escala de cinco grados propuesta por Broca a finales del siglo pasado [101], diferentes autores han tratado de medir el desgaste, correlacionándolo con patrones de cambio [102,103], la función y variabilidad cultural [104], técnicas de medición [101,105-109] la enumeración de anillos en el cemento [110] y el gradiente del grosor del esmalte [111].

- Costillas:

Este método fue introducido por McKern y Stewart [93] en el año 1957 y diversos trabajos posteriores [112] han demostrado diferencias entre los individuos masculinos y femeninos, así como entre poblaciones distintas. En principio, se recomienda que la determinación de la edad se realice analizando la cuarta costilla puesto que es la que se estandarizó en los estudios originales a partir de casos forenses. Pero, teniendo en cuenta el estado físico de los restos óseos arqueológicos, no siempre es posible determinar con precisión la costilla con la que se realiza el diagnóstico.

Los cambios que se producen en las costillas son los siguientes: en un individuo juvenil, el extremo de la costilla es romo, ligeramente ondulado. Poco a poco la superficie se va hundiendo por la aparición de una corona en el borde. En la parte interior aparecen granulaciones producto de la degeneración de la superficie. En los individuos de mayor edad la superficie es muy profunda y la corona muestra un aspecto irregular por la calcificación del cartílago.

Loth e Iscan publicaron un esquema descriptivo de los cambios de la cuarta costilla [113]. Según la metamorfosis observada, en la profundidad de la articulación costal, la forma, la configuración del borde y paredes y la condición total de la misma, Iscan et al.

propusieron nueve fases diferentes desde 0 hasta 8 en los dos sexos, (como podemos observar en la Figura 12) según los cambios morfológicos que se producen en la superficie articular de la costilla, sus bordes y la profundidad y forma de la hondonada.



Figura 12. Esquema de los cambios en tercera hasta quinta costilla según Iscan et al [113].; 1) fase 0-1; 2) fase 2-3; 3) fase 4; 4) fase 5; 5) fase 6-7; 6) fase 8. Modificado de Krenzer [60].

- Clavícula:

Este método observa las modificaciones, que se dan en los fines esternales de la clavícula, es decir en la faceta articular esternal. En 1977 el europeo Szilvassy propuso una metodología para investigar la osificación que tiene lugar en adultos menores entre los 18 y 30 años [114]. Según el autor se puede determinar las siguientes etapas de la metamorfosis en la faceta articular esternal:

— Etapa 1: (18 – 20 años) granulación significativa con grietas hasta 2 mm del borde.

- Etapa 2: (21 – 25 años) desaparece la estructura granulada, la superficie está más lisa y muestra una cresta marcada de 1-2 mm en el borde.
- Etapa 3: (26 – 30 años) la superficie está totalmente lisa y la cresta del borde desaparece.

▪ Cartílago tiroides:

Aunque el cartílago tiroides es poco reconocido en las exhumaciones forenses y arqueológicas, es considerado un apropiado segmento óseo para el estudio de la metamorfosis de la edad a partir de su osificación. Vlcek estableció, basándose en 10 elementos de observación del cartílago, una clasificación según las fases de osificación [116] desde los primeros años de vida en donde aparecen los primeros centros de osificación (Figura 13).

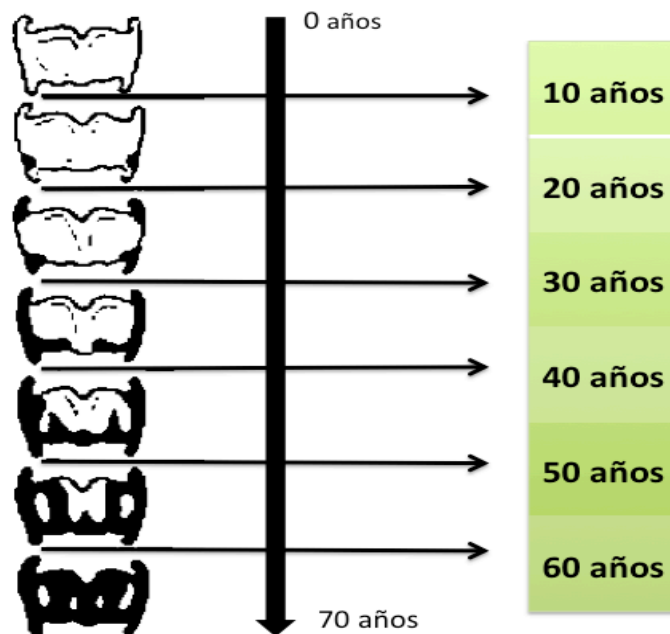


Figura 13. Cronograma de la osificación de cartílago tiroides por Vlcek.

4.2.3.4. DETERMINACIÓN DE LA ESTATURA

La estatura o talla de pie se define como la altura comprendida entre el vértex (punto más elevado de la cabeza) al suelo, estando el individuo en bipesdestación y con la cabeza orientada en el plano de Frankfort. Se suele medir mediante el antropómetro y se expresa en centímetros. Junto con el sexo, la edad y la raza conforma los parámetros básicos identificativos en la Antropología Forense.

La talla es el resultado de la interacción de múltiples factores exógenos y endógenos, existiendo variaciones en las proporciones óseas entre razas, sexo y poblaciones, lo cual obliga a ser prudentes con las estimaciones alcanzadas.

A) CAUSAS DE LA FALTA DE RIGOR EN LA MEDICION DE LA TALLA

- **Problemas en los registros**

Antes de nada, conviene recordar que las investigaciones forenses relativas a la identificación sólo tienen sentido cuando hay términos de comparación. De nada sirve investigar una serie de parámetros posmortales cuando no tenemos datos antemortales que nos permitan su cotejo para establecer la identidad de los restos a estudiar [117]. El caso de la estatura no es una excepción. Uno de los problemas más importantes es el hecho de haber enormes disparidades en los registros de los datos antemortales. Otro, no menos importante, consiste en las variaciones que sufre la estatura, bien en el mismo individuo a lo largo del día, con la edad [4,118] o con ciertas enfermedades, bien de un individuo a otro, entre poblaciones diferentes.

Los registros oficiales de la estatura de los ciudadanos tienen varias fuentes:

- 1) el registro militar, hasta hace pocos años aplicable solamente a los hombres, pero actualmente también extensible a las mujeres;
- 2) los registros médicos, generalmente recogidos en niños para la evaluación de su

desarrollo ponderal;

3) los registros de las autoridades policiales relativos a los detenidos.

Se pudo comprobar que existe una gran disparidad en estos registros, lo que llevo por ejemplo, en 1971 a Snow y Williams a publicar un caso en el que las diferencias en los registros de estatura de un mismo individuo de sexo masculino, medido diecinueve veces por médicos y diferentes instituciones policiales, entre los 24 y 44 años de edad variaban desde 62 a 67 pulgadas (157,48 cm y 170,18 cm) [119].

▪ **Variación de la talla de un individuo**

Sabemos que la estatura de un individuo varía a lo largo del día debido a la diferente compresión de los discos intervertebrales, dependiendo de la postura erecta, supino...

El mismo individuo medido en diferentes posiciones a lo largo del día puede presentar variaciones de hasta 15 mm. Cuento más tiempo se permanezca de decúbito más mide el individuo, de ahí que una persona mida más al levantarse de la cama por la mañana que al acostarse por la noche.

Pero un factor a tener en cuenta es la variación de la estatura con respecto a la edad. Trotter y Gleser estudiaron una muestra de 855 esqueletos de cadáveres americanos de razas caucásica y negroide y llegaron a la conclusión de que la reducción de la talla con la edad es igual para ambas razas y para ambos sexos, calculándose en 1,2 cm cada 20 años [120].

Años después, en 1970, Trotter sugirió que se realizaran correcciones de la estatura a partir de los 30 años de edad [121]. Sin embargo Galloway en 1988 explicaba que estas correcciones se deben de realizar solamente a partir de los 45 años ya que la reducción de la talla antes de esa edad es insignificante [122]. Dos años más tarde este autor estipuló esta reducción de la talla en un 0,09% por año.

También es importante tener presente que la talla puede sufrir alteraciones debido a ciertas enfermedades que afecten al normal desarrollo del individuo o en estructuras

óseas ya desarrolladas. Tales como las cromosomopatías, enfermedades endocrinas como alteraciones de la hormona del desarrollo o tiroideas, patologías degenerativas osteoarticulares, traumáticas que afecten a discos intervertebrales...

- **Variación de la talla entre diferentes poblaciones y razas**

Si comparamos la estatura de individuos de igual sexo y edad, pero de nacionalidades diferentes, encontraremos variaciones a veces notables.

Para Langaney la repartición geográfica de las tallas medias de las poblaciones varía según los continentes [123]. Así tendríamos los pueblos de talla media baja en las florestas ecuatoriales, en las altas montañas y en las zonas polares, incrementándose poco a poco a medida que nos acercamos a las zonas frías templadas donde residen las poblaciones más altas. Sin embargo en África no podríamos dividir la población según estos criterios. Siempre debemos tener en cuenta, que la mayoría de las poblaciones han sufrido migraciones por guerras, invasiones o la sedentarización de poblaciones que antes fueron nómadas.

Langaney incluso llega a afirmar que la repartición de las estaturas medias de los pueblos en nuestro planeta no se debe al azar sino que depende de unos determinados criterios como el ecosistema de origen de la población y de la latitud de residencia.

Estudiando la evolución de la raza humana a lo largo de la historia, el paso de la subsistencia alimentaria basada en la caza y recogida de alimentos a la agricultura supuso para las poblaciones un aumento de malnutrición y enfermedades infecciosas epidémicas y endémicas. Diversos autores como Carrión [124], Komlos [125] y Steckel [126], han considerado la estatura como uno de los indicadores del nivel de vida y de salud de las poblaciones humanas a lo largo de la historia, junto con los niveles de renta, la esperanza de vida, la mortalidad infantil o los salarios reales, entre otros. Aunque la estatura no es *per se* un indicador de salud, está directamente relacionada con uno de sus componentes: la nutrición. Considerando la estatura como un índice de salud poblacional, los paleopatólogos afirman que con la llegada de la agricultura se produjo una reducción de

la talla. Podemos explicar este fenómeno por tres razones:

- La base de la alimentación de los agricultores serían cereales y tubérculos por lo que carece de proteínas.
- La dependencia de las cosechas aumenta el riesgo de hambre.
- Las poblaciones se vuelven sedentarias y ello favorece la transmisión de enfermedades.

▪ **Variaciones de la talla debido al paso generacional dentro de la misma población**

Debemos de tener en cuenta la influencia de los cambios seculares en las poblaciones que han dado lugar a un aumento de la talla media y una finalización más temprana del crecimiento en el último siglo [127].

La estatura en Europa ha aumentado a lo largo del tiempo, pero también se observan períodos importantes de fluctuación, es decir, épocas de aumento y disminución de la estatura media de los europeos que han tenido relación con los acontecimientos históricos y económicos.

Al analizar por países las diferencias por sexo en la estatura en Europa, en 1990, se observa en general una menor estatura de las mujeres con respecto a los hombres. En España e Italia la diferencia entre ambos era inferior al resto de países analizados. Esta diferencia es de hasta 13 cms. en países como Suecia y Finlandia. En España es de 9,7 cms.

En España a lo largo del siglo XX, existen tres épocas históricas que coinciden con un periodo de estancamiento o reducción de la estatura media:

- la Gran Depresión de los años treinta (1934-1939).
- la Posguerra española (1939–1959)
- la Segunda Guerra Mundial (1940-1945).

Se observa un incremento durante el primer tercio del siglo y una caída significativa durante los años de guerra y autarquía, con una posterior subida a partir de la década de

1950, cuando España entró en un nuevo ciclo económico que tuvo consecuencias positivas en la mejora de los niveles de vida. Hubo un crecimiento económico importante entre 1960 y 1975 cuando mejoró la demanda de bienes y servicios, se disparó el consumo, mejoró la asistencia sanitaria y aumentó considerablemente la renta *per cápita*. En este contexto, la talla de los españoles creció 8,1 cms. entre 1955 y 1990. Este incremento, superior al que experimentaron el resto de países europeos, tiene relación con la baja estatura inicial de la que partía España en relación al resto de países europeos.

Analizando datos de la ENS de 2003 se observa que todos los grupos de edad de los varones españoles han aumentado su estatura media entre 1987 y 2001, hecho que concuerda con la mejora de las condiciones ambientales acontecida en España en las últimas 3 décadas. Pero en 2003 se observa un ligero agotamiento de esta tendencia, lo que puede ser debido a la culminación de la transición nutricional que se inició en España en el primer tercio del siglo XX. Es decir, se ha logrado una seguridad alimentaria y la talla no puede seguir aumentando de manera indefinida, como lo hizo hasta la consecución de estándares de bienestar social

También es importante destacar que el crecimiento en el desarrollo del niño no es simétrico. En este sentido, el crecimiento de las extremidades superiores se ha valorado como isométrico y el de las inferiores alométrico; a su vez, mayor en la tibia que en el peroné [128]. Lo que implica posibilidad de error al realizar estimaciones en la población actual usando fórmulas basadas en poblaciones más antiguas.

También es importante tener en cuenta la asimetría entre los huesos de ambas extremidades, que aunque suele ser irrelevante, cuando se usa la misma fórmula para ambos lados y esa diferencia es acentuada, puede dar lugar a estimaciones erróneas.

En la práctica, cuando nos encontramos ante unos restos óseos, nos podemos enfrentar a varias situaciones; que dispongamos de una cantidad elevada de huesos o solo de algún hueso aislado. La técnica que habrá que seguir en cada caso será distinta y por ello a continuación presentamos ambos métodos.

B) RECONSTRUCCIÓN DE LA TALLA A PARTIR DEL ESQUELETO COMPLETO: MÉTODO ANATÓMICO

Este método proporciona una estimación muy precisa de la altura a través de la medición directa de las dimensiones del cráneo, las vértebras, el fémur, la tibia, astrágalo y el calcáneo. La principal desventaja de este método es la necesidad de un gran número de huesos presentes en su cálculo, condición poco común en la práctica.

Este método establece el cálculo de la estatura mediante la suma de la medición directa de determinados huesos y un factor de corrección correspondiente a los tejidos blandos.

Dwight en 1894, fue pionero en la utilización de este método que aplicaba articulando todos los huesos del esqueleto en una capa de arcilla que colocaba sobre una mesa alargada [129]. En primer lugar, articulaba las vertebras (desde el atlas al sacro), y la pelvis, articulando las carillas sacras posteriores con L5; posteriormente situaba los huesos largos de los miembros inferiores: primero el fémur, en posición anatómica, con la cabeza en el interior del acetábulo sin tocar el borde, y después las tibias, dejando 6 mm entre éstas y los fémures. A continuación colocaba el astrágalo, dejando 3 mm de espacio con la tibia, espacio que también dejaba entre el calcáneo y el astrágalo. Sumaba 12 mm en concepto de partes blandas del pie. En cuanto al cráneo, lo colocaba dejando 3 mm entre los cóndilos y el atlas, y añadía 6 mm en concepto de espesor de las partes blandas del vértice del cráneo. A las longitudes de los huesos largos sumaba 33 mm por cartílagos y partes blandas para obtener la estatura.

Lógicamente, el empleo de este método requiere tener el esqueleto al completo, situación que ocurre muy pocas veces.

Anteriormente a que Dwight presentase este método ya se habían realizado investigaciones como la presentada por Jean Joseph Sue, que ya en el siglo XVIII, en el año 1755, presentó sus conclusiones sobre la proporcionalidad del esqueleto humano, según el estudio realizado en 14 cadáveres de diferentes edades [130]. Más tarde Orfila en 1821 hizo un estudio en donde midió 10 esqueletos y 51 cadáveres de París publicando lo que se considera las primeras tablas de cálculo de la estatura basándose en la longitud de huesos largos [131].

Pero fue Fully en 1956 el que propone un método ampliamente aceptado y que consiste

en realizar las siguientes medidas [132]:

- Altura del cráneo: es la altura basio-bregmática
- Cuerpos vertebrales: se mide el espesor por separado de todos los cuerpos vertebrales, desde el axis a la quinta lumbar.
- Altura de la primera vértebra sacra.
- Longitud del fémur: siempre medido en posición oblicua como se encontraría en posición bípeda.
- Longitud de la tibia: excluyendo la espina tibial.
- Altura del conjunto del calcáneo y astrágalo.

La suma de todas estas medidas nos darán la medida esquelética que habrá que corregir para conseguir la talla real. Las correcciones serían:

- En tallas inferiores o iguales a 1,535 mm: añadir 100 mm
- Tallas superiores o iguales a 1,655 mm: añadir 115 mm
- Tallas intermedias: añadir 105 mm.

Las tallas calculadas por este procedimiento tenían un 3,5 cm de error máximo, mientras que con otras llegaban a los 10 cm.

Posteriormente Fully y Pineau mejoraron este método para poder aplicarlo en los casos en los que no se disponían de todas las vértebras y establecieron fórmulas para calcular la estatura con seis vertebras e incluso con solo tres [133].

▪ **Tablas poblacionales. Método anatómico**

A continuación se describen con más detalle las fórmulas desarrolladas con el método anatómico para el cálculo de la estatura.

Fórmulas de Fully [132]: debido a la gran desventaja de este método por ser necesaria la presencia de un esqueleto completo, realizó una serie de cambios para poder hacerlo más aplicable. Su método anatómico está basado en el estudio de 102 esqueletos de adultos varones en buen estado de conservación, procedentes del campo de concentración de

Mauthausen (Austria) en la Segunda Guerra Mundial. Los cuerpos fueron enterrados sin ataúdes y sin identificaciones. Dentro de estos 102 cadáveres existen varias nacionalidades europeas, tienen entre 18 y 65 años de edad y sus estaturas están comprendidas entre 151 cm y 188 cm. Aunque la muestra se compone solo de esqueletos de varones, según se podría aplicar este método a individuos femeninos ya que las dimensiones femeninas son un 92% de las masculinas.

La técnica de Fully consiste en recoger las siguientes medidas óseas para poder estimar la estatura [132]:

- Medida basio-bregma del cráneo.
- Medida máxima de los cuerpos vertebrales entre C2 y L5 (por separado). No se incluye el atlas porque su medida está incluida entre el margen superior e inferior del axis, incluyendo la apófisis odontoides.
- Medida anterior del primer segmento del sacro.
- Longitud oblicua del fémur (fisiológica o bicondilar).
- Longitud máxima de la tibia sin tuberosidad intercondilea e incluyendo el maléolo. Se mide en la tabla osteométrica de Broca.
- Longitud de la articulación calcáneo-astragalina, desde el punto más superior del astrágalo al más inferior del calcáneo. Corresponde a la distancia entre la parte superior de la tróclea y la plantar del calcáneo, en su contacto con la pared vertical de la tabla osteométrica estándar.

Junto con estas medidas, se incluye la medida total del esqueleto para obtener la estatura en vida del individuo o *ante mortem* mediante esta fórmula:

Estatura en vida = $0.98 \text{ (medida total del esqueleto)} + 14.36 \pm 2.05 \text{ cm.}$

Fully también proporcionó unos factores de corrección del tejido blando, que deben ser añadidos para obtener la estimación final de la estatura:

- Si la medida del esqueleto es igual o menor de 153,5 cm., añadir 10 cm. en caso masculino y 9,2 cm. en caso femenino.
- Si está comprendida entre 153,5 y 165,4 cm., añadir 10,5 cm. en caso masculino y 9,7 cm. en caso femenino.

- Si es igual o mayor que 165,5 cm., añadir 11,5 cm. en caso masculino y 10,6 cm. en caso femenino.

El autor sugería un ajuste a la estatura esquelética mediante la fórmula:

$$\text{Estatura (cm.)} = \text{estatura esquelética} + 10,8 \pm 2,015$$

Más tarde, en 1960, Fully y Pineau desarrollaron un procedimiento nuevo sobre la misma muestra en el que solo era necesario medir el segmento vertebral lumbar y la tibia o el fémur, sin necesidad de ajustes por el tejido blando [133].

Como esta fórmula se obtuvo con una muestra de individuos franceses masculinos, propusieron las siguientes fórmulas generales, aplicables según los autores a todos los grupos étnicos, para ambos sexos y ambas lateralidades:

$$\text{Estatura (cm.)} = 0,98 (M17 + C2-L5+F+T+P) + 14,62 \pm 2,0$$

$$\text{Estatura (cm.)} = 2,09 (F + L1-L5) + 42,67 \pm 2,35$$

$$\text{Estatura (cm.)} = 2,32 (T + L1-L5) + 48,63 \pm 2,54$$

Donde M17 es la altura del cráneo, P es la medida del calcáneo y el astrágalo articulados. Según Nath y Badkur, las ventajas del método de Fully respecto al descrito por Dwight, son que no se necesita articular el esqueleto completo para estimar la estatura y es aplicable de forma universal, tanto a hombres como a mujeres, sea cual sea el origen o lugar de procedencia [168].

No obstante, el método de Fully plantea una serie de problemas puesto que no señala los puntos exactos de medidas de las vértebras, ni la posición exacta de la articulación calcáneo-astragalina para tomar su medida.

Por estos problemas, Raxter et al [169], decidieron revisar y modificar el método de Fully [132].

C) RECONSTRUCCIÓN DE LA TALLA A PARTIR DE HUESOS AISLADOS: MÉTODO MATEMÁTICO

Los primeros trabajos sobre este tema datan del siglo XVIII. En 1770 tiene lugar la lectura de una memoria en la Academia de Ciencias francesa, sobre las proporciones del esqueleto en el varón. Le siguen los trabajos de Orfila en 1848, Lesueur y Topinard en 1885. Una de las primeras tablas poblacionales data de 1880 realizada por Rollet y en ella elabora una correlación de la talla con la longitud de los huesos largos de las extremidades. Para ello realizó medidas en 50 esqueletos masculinos y 50 femeninos, los cuales, años más tarde fueron aprovechadas por Manouvrier publicando nuevas tablas [134].

Diez años más tarde, Pearson trabaja con el mismo material y le aplica un enfoque estadístico obteniendo fórmulas de regresión con las que se puede reconstruir la estatura en vida de un sujeto a partir de la longitud de determinados huesos y que son usadas en la actualidad.

Como en la mayoría de los casos solo vamos a disponer de restos óseos aislados, podemos llevar a cabo *el método matemático* [135-138] que desarrolla fórmulas o ecuaciones de regresión, las cuales muestran una relación lineal entre la longitud y la altura de varios huesos. Aunque no es tan preciso como el método anatómico es mucho más útil, ya que sólo se necesita uno o unos pocos huesos para su cálculo. Se debe enfatizar el hecho de que cada fórmula solo puede ser utilizado en la población de la que se obtuvo ya que existen diferencias geográficas que alteran la relación entre las medidas del cuerpo [139-142].

Etienne Rollet (citado en Trotter et al. [120]), como ya comentamos anteriormente, fue uno de los primeros investigadores en usar el método matemático utilizando medidas de huesos largos de 50 cadáveres masculinos y 50 de mujeres llegando a publicar incluso una tabla con dichas mediciones y teniendo en cuenta, según él que el hueso fresco mide 2mm más que el hueso seco.

Más tarde, en París, Manouvrier publicó las primeras tablas con aplicación práctica para el cálculo de la estatura que incluso actualmente se usan, con medidas de 25 cadáveres de mujeres y 25 de hombres [134]. El autor llegó a la conclusión de que con la edad,

disminuye la longitud del tronco con respecto a la estatura alrededor de unos 3 cm. Además estableció en 2 mm la diferencia de medida entre hueso fresco y hueso esqueletizado, y dedujo que había que restar 2 cm a la estatura obtenida en el cadáver para estimar la del individuo en vida debido a la compresión de los tejidos blandos de la posición erecta. Incluso se siguen utilizando actualmente sus tablas, en las cuales se muestran las medidas en huesos de cadáveres de población francesa de finales del siglo XIX, por lo que habrá de restarse 2 cm para obtener así la talla en el vivo.

Es conocido desde finales del siglo XIX que hay ligeras variaciones entre la altura medida y la estatura corporal medida in vivo. El cuerpo mide 2,5 cm más (valor que depende del tiempo transcurrido entre la muerte y el tiempo de medición) que la estatura de la persona cuando estaba vivo [143,144]. Se produce un alargamiento de 1,5 cm en los varones y de 2 cm en las mujeres. Este fenómeno puede explicarse por la colocación del cuerpo recostado, debido a no estar comprimido por la presión, relajación de los ligamentos y los discos intervertebrales, así como el enderezamiento de la curvatura vertebral [143-149].

Sin embargo hay que tener en cuenta que la talla esquelética es inferior a la del sujeto vivo ya que le faltan todas las partes blandas y cartilaginosas, así como los discos intervertebrales.

Los huesos largos, especialmente de las extremidades inferiores (fémur y tibia), mostraron una alta fiabilidad para el cálculo, como se muestra en las publicaciones de Trotter y Gleser [141,142,144-147,149-151]. Para los niños, eran más fiables los resultados obtenidos con el estudio de los huesos largos de las extremidades superiores, ya que no varían tanto con déficit nutricional.

Se ha identificado al respecto la mayor correlación del fémur para la raza blanca y de tibia para la raza negra.

Con respecto a los huesos pequeños, tales como los del pie, cabe decir que han resultado ser mucho más resistentes debido a estar resguardados por el calzado y la ropa y las características de sus propios tejidos [152]. Estos pequeños huesos (ya sea la mano o pie), se recuperan fácilmente y producen resultados más fiables que los fragmentos de los

huesos largos, como puede verse en las obra de Giles [153], Meadows [154] y de Bidmos et al. [155,156].

Mención especial en este trabajo, por razones obvias, merecen los estudios en los que se lleva a cabo la estimación de la estatura en función de las dimensiones de otros elementos óseos, como por ejemplo, la columna vertebral, los metacarpianos y los metatarsianos. Aunque los resultados no han sido tan buenos como en el caso de los huesos largos, por las condiciones de éstos, a menudo los pequeños huesos perduraran en mejores condiciones y por ello merecen su estudio. Meadows y Jantz han efectuado un análisis para la reconstrucción de la estatura en base a los cinco metacarpianos, tomando las mediciones del centro de la superficie articular proximal hasta el centro del punto distal [154]. Su población de referencia consistió en hombres y mujeres caucasoides y negroides. A causa de mayores errores de estándar se aplican sus ecuaciones de regresión solamente en ausencia de huesos largos. (Ver Tabla 34 en ANEXO II).

Musgrave y Harneja presentaron otras fórmulas que utilizan los metacarpianos. Los investigadores analizaron 167 manos (varón derecha 67, varón izquierda 53, mujer derecha 26 y mujer izquierda 20) de pacientes entre 17 y 87 años de edad en un hospital en Inglaterra, tomando las mediciones en placas radiográficas [157]. La tabla 35 (Ver en ANEXO II) representa sus resultados para la reconstrucción de la talla. Sus resultados indicaron que los metacarpianos de la mano derecha son más largos que los de la mano izquierda.

Más actual es el estudio de Sağır [158] en el cual desarrolla fórmulas de regresión para estimar la estatura en población turca realizando la medida de la longitud máxima de los cinco metacarpianos en 200 voluntarios vivos (100 mujeres y 100 hombres) a los que se realizó una radiografía de la mano izquierda. También realizó una comparación de los resultados de su estudio con los obtenidos por Musgrave y Harneja, y Meadows y Jantz anteriormente descritos. (Ver Tabla 36 en ANEXO II).

Además Jason y Taylor en 1995 elaboraron un método para la reconstrucción de la talla en base de las vértebras en los dos sexos de caucasoides y negroides [159]. Usando huesos todavía articulados de autopsias, los investigadores midieron la altura de los cervicales, dorsales y lumbares. Los resultados reflejan que, algunos segmentos de la

columna vertebral son más valiosos que otros. Comparando los resultados obtenidos por este método con los otros mencionados anteriormente, determinaron grandes diferencias. Nagesh utilizó recientemente longitudes de diferentes segmentos de la columna para estimar la estatura en población India [160]. Más recientemente, Torimitsu et al. presentan un estudio en población japonesa donde estima la estatura en base a medidas realizadas en imágenes TC de la segunda vértebra cervical [161].

De todas formas se recomienda la aplicación de aquellas fórmulas para la reconstrucción de la talla de pie solamente cuando el inventario óseo no cuenta con huesos largos.

Publicaciones más actuales con los metatarsianos serían por ejemplo, la obra de Byers et al. [162] y los estudios, más contemporáneos de Bidmos [163], De Groote et al. [164], Davies et al. [165] y Pablos et al. [166].

▪ **Tablas poblacionales y fórmulas para la estimación de la estatura. Método matemático**

A continuación se presentan las principales tablas poblacionales y fórmulas dentro de este método (pueden consultarse en ANEXO II) por ser de mayor interés dentro de la Antropología forense.

Tablas de Manouvrier [134]: como hemos comentado anteriormente, están basadas en población francesa de finales del siglo XIX. Aun hoy son utilizadas por lo que se incluyen, si bien su aplicación en la población actual puede dar resultados distorsionados, de hasta 10 cms. La altura que proporcionan las tablas es la correspondiente al cadáver, por lo que habrá de restarse 2 cm para obtener así la talla en el vivo (ver Tabla 27 en ANEXO II)

Fórmulas de regresión y tablas de Telkkä [167]: desarrolladas en 1950 sobre población finlandesa, por lo que son de menor aplicación en población mediterránea. En el cúbito y el radio se mide la longitud fisiológica (sin apófisis estiloides), mientras en el fémur se utiliza la longitud máxima (ver Tabla 28 y siguientes en ANEXO II)

Telkkä mediante el estudio de las medidas de los huesos largos de 150 cadáveres,

propuso un modelo de estimación de la estatura en individuos finlandeses [167]. Se trataba de cadáveres de 115 hombres y 39 mujeres, depositados en el Departamento de Anatomía de la Universidad de Helsinki. La media de edad para los hombres era de 42.3 años, y la de las mujeres de 50,4 años (5,9). Los huesos eran secos y los que presentaban alguna patología fueron desestimados. Realizó la medida de los 6 huesos largos de ambas extremidades. A partir de los datos obtenidos calculó una ecuación de regresión y tablas de consulta para cada hueso y cada sexo. El tratamiento estadístico del material está basado en la determinación de la correlación y del coeficiente de regresión entre la estatura y los huesos largos.

Las fórmulas de regresión que obtuvo se pueden ver como Tabla 30 en ANEXO II.

Formulas de regresión y tablas de Trotter y Gleser [120]: ambas investigadoras publican sus resultados en 1952, basados en el estudio de cadáveres de soldados americanos muertos en la II Guerra Mundial y en esqueletos de la colección Terry (Smithsonian Institution: 615 hombres, de los cuales 255 pertenecían a la raza blanca y 360 eran de raza negra; y 240 mujeres, de las cuales 63 eran de raza blanca y 177 de raza negra), en total 2055 cuerpos. En 1958 amplían la muestra con 5517 cuerpos de soldados americanos caídos en Corea, sumando así un total de 7572 cuerpos analizados. Tienen en consideración la diferencia de 2,35 cms. entre la talla del vivo y el cadáver y restan al resultado a partir de los 30 años $0,06 \times (\text{edad}-30)$. En 1977 las vuelven a publicarlas tras corregir un error de transcripción en las medidas del radio para mujeres negras (ver Tabla 31 en ANEXO II).

Sobre este trabajo en 1995 Jantz et al [128] señalaron errores en la medida de la tibia, probablemente por no haber incluido el maléolo, dando lugar a una infraestimación de la estatura.

Formulas de regresión y tablas de Mendonça [145]: esta antropóloga portuguesa da a conocer sus fórmulas regresivas para el cálculo de la talla en 1998, basadas en su estudio de 200 cuerpos autopsiados en el IML de Oporto. Mide la longitud máxima de húmero y las longitudes máxima y fisiológica del fémur, siempre del lado derecho. Son todos individuos contemporáneos, de raza caucasiana mediterránea, originarios de la península ibérica, por lo que resulta evidente su interés en el campo de la Antropología Forense

española (ver Tabla 32 y 33 en ANEXO II).

Fórmulas de regresión de Cordeiro et al. [138]: Empleó una muestra de 220 metatarsianos (110 primeros y 110 segundos metatarsos) del Instituto nacional de Medicina Legal en Portugal, (la misma que empleamos nosotros en uno de nuestros estudios [188]). Tomaron cuatro medidas, longitudes máximas y fisiológicas de primer y segundo metatarsiano, para deducir las fórmulas de regresión que servirán en la estimación de la estatura en población portuguesa. (Fórmulas a continuación y también en ANEXO II).

Tabla 5. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos según Cordeiro et al. [138]. Para población portuguesa.

HOMBRES	MUJERES	SEXO DESCONOCIDO
$S = 963.949 + 11.678F1$	$S = 919.146 + 12.006F1$	$S = 887.530 + 12.826F1$
$S = 834.630 + 11.563F2$	$S = 957.350 + 9.488F2$	$S = 798.894 + 11.990F2$
$S = 865.335 + 12.317M1$	$S = 871.260 + 11.970M1$	$S = 816.157 + 13.007M1$
$S = 817.849 + 11.374M2$	$S = 961.592 + 9.117M2$	$S = 790.041 + 11.689M2$

S= Estatura en cm. F1: longitud fisiológica del primer metatarsiano. F2: longitud fisiológica del segundo metatarsiano. M1: longitud máxima del primer metatarsiano. M2: longitud máxima del segundo metatarsiano en mm.

Fórmulas de regresión de Bidmos [163]: en 2008 presenta este estudio basado en seis medidas en los cinco huesos metatarsianos recogidos de la colección Raymond A.Dart en población del sur de África, para elaborar fórmulas de regresión para determinar la estatura. (A continuación y en ANEXO II).

Tabla 6. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos según Bidmos [163]. Para población Sudafricana.

ISA male

1	$0.96M1 + 92.67$
2	$0.96M2 + 80.62$
3	$0.87M3 + 91.75$
4	$0.64M4 + 107.42$
5	$0.83M5_F + 102.31$
6	$0.68M5_P + 103.92$

ISA female

1	$1.30M1 + 64.97$
2	$1.13M2 + 61.99$
3	$1.05M3 + 71.04$
4	$1.03M4 + 74.50$
5	$1.03M5_F + 82.43$
6	$0.69M5_P + 95.39$

SAED male

1	$0.91M1 + 100.49$
2	$0.96M2 + 84.00$
3	$0.98M3 + 87.41$
4	$0.98M4 + 88.65$
5	$0.96M5_F + 97.73$
6	$0.83M5_P + 97.19$

SAED female

1	$1.39M1 + 63.57$
2	$1.07M2 + 69.98$
3	$1.01M3 + 78.78$
4	$1.00M4 + 81.00$
5	$0.97M5_F + 89.89$
6	$0.74M5_P + 96.61$

ISA male

1	$0.64M1 + 0.39M5_P + 85.07$
2	$0.58M1 + 0.99M2 - 0.52M4 + 79.44$
3	$0.54M1 + 0.75M2 - 0.61M4 + 0.35M5_P + 81.15$
4	$0.53M1 + 0.68M2 + 0.21M3 - 0.54M4 - 0.33M5_F + 0.43M5_P + 81.66$

ISA female

1	$0.81M1 + 0.53M3 + 58.21$
2	$0.81M1 + 0.70M3 - 0.17M5_P + 58.46$
3	$0.71M1 + 0.34M2 + 0.49M3 - 0.20M5_P + 56.54$

SAED male

1	$0.71M2 + 0.31M5_F + 83.69$
2	$0.58M2 + 0.31M5_F + 0.17M5_P + 81.90$
3	$0.78M2 - 0.50M4 + 0.47M5_F + 0.28M5_P + 82.61$
4	$0.02M1 + 0.87M2 - 0.29M3 - 0.35M4 + 0.49M5_F + 0.30M5_P + 82.27$

SAED female

1	$0.81M1 + 0.53M2 + 60.32$
2	$0.84M1 + 0.65M2 - 0.16M5_F + 59.92$
3	$0.85M1 + 0.59M2 - 0.38M5_F + 0.22M5_P + 61.92$

ISA MALE: hombres indígenas del sur de África, ISA FEMALE: mujeres indígenas del sur de África, SAED MALE: hombres de descendientes del sur de África, SAED FEMALE: mujeres sudafricanas de descendientes europeos, M1-M4: longitud del metatarsiano 1 a 4, M5F: longitud funcional del quinto metatarsiano, M5P: longitud fisiológica del quinto metatarsiano.

Fórmulas de regresión de De Groote et al. [164]: desarrolla fórmulas para estimar la estatura, la grasa corporal y el diámetro de la cabeza del fémur y su longitud. Basado en el análisis de las medidas del primer metatarsiano de 87 individuos de diferentes nacionalidades (australianos, africanos...) fue publicado en el año 2011. (A continuación y también en ANEXO II).

TABLA 7. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura y otras medidas a partir de diferentes medidas de metatarsianos según De Groote et al [164]. Para población de diferentes nacionalidades.

Femoral head diameter

- a) $1.652 \times \text{Prox DP diameter} - 1.981$
- b) $(1.349 \times \text{Prox DP diameter}) + (0.424 \times \text{Dist ML Diameter}) - 2.578$
- c) $1.589 \times \text{Prox ML diameter} + 13.117$
- d) $1.559 \times \text{Dist DP diameter} + 12.812$
- e) $1.795 \times \text{Dist ML diameter} + 5.411$

Body mass

- a) $3.553 \times \text{Prox DP diameter} - 37.167$
- b) $(2.900 \times \text{Prox DP diameter}) + (0.911 \times \text{Dist ML Diameter}) - 38.450$

Femoral Length all individuals

- a) $9.870 \times \text{Prox DP diameter} + 151.759$
- b) $(5.926 \times \text{Prox DP diameter}) + (2.861 \times \text{Length}) + 90.024$
- c) $5.683 \times \text{MT length} + 84.298$

Femoral Length UK only

- a) $8.642 \times \text{Prox DP diameter} + 184.486$
- b) $(6.089 \times \text{Prox DP diameter}) + (1.956 \times \text{Length}) + 139.046$
- c) $4.356 \times \text{MT length} + 167.807$

Femoral head diameter: diámetro de la cabeza del fémur, Body mass: masa corporal, Femoral Length all individuals: longitud del fémur de toda la muestra, femoral Length UK only, longitud femoral de la muestra inglesa, Prox DP diameter: diámetro dorso-plantar proximal, Prox ML diameter: diámetro medio lateral de la articulación proximal, Dist DP diameter: diámetro dorso-plantar de la articulación distal, Dist ML diameter: diámetro medio-lateral de la articulación distal, MT length: longitud del primer metatarsiano. Todo en mm.

Fórmulas de regresión de Pablos et al. [166]: más actual es el estudio realizado por estos españoles que en el año 2013 presentan fórmulas de regresión para estimar la estatura a partir de diferentes medidas del astrágalo, calcáneo y los cuatro primeros metatarsianos en una muestra de Afro y Euroamericanos de ambos sexos. (Fórmulas a continuación y también en ANEXO II).

Tabla 8. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos y otros huesos del pie según Pablos et al.[165]. Para población Afro y Euroamericana.

$St = 755.730 + 14.590(Mt1)$	$St = 546.998 + 6.261(Calc) + 10.142(Mt1)$
$St = 987.495 + 10.494(Mt1)$	$St = 470.699 + 6.626(Tal) + 13.056(Mt1)$
$St = 1106.539 + 9.723(Mt1)$	$St = 908.491 + 4.724(Calc) + 6.867(Mt1)$
$St = 858.359 + 14.765(Tal)$	$St = 546.335 + 11.099(Tal) + 8.118(Mt1)$
$St = 965.838 + 9.789(Calc)$	$St = 856.037 + 8.645(Calc) + 2.755(Mt4)$
$St = 829.091 + 10.409(Calc)$	$St = 425.213 + 10.480(Tal) + 8.683(Mt2)$
$St = 1109.275 + 8.194(Mt2)$	$St = 953.636 + 5.427(Tal) + 5.711(Mt2)$

St: estatura, Mt1-Mt4: longitud máxima del primer a cuarto metatarsiano, Tal: longitud máxima del astrágalo, Calc. Longitud máxima del calcáneo.

Fórmulas de regresión de Torimitsu et al. [161]: evalúan las correlaciones entre las mediciones de la segunda vértebra cervical (C2) y la estatura utilizando la tomografía computarizada y desarrollan ecuaciones de regresión para estimar la estatura en una población japonesa. Las mediciones se realizaron en 216 sujetos japoneses (116 varones y 100 mujeres) que fueron sometidos a autopsia entre mayo de 2011 y noviembre de 2013. (Fórmulas a continuación y también en ANEXO II).

Tabla 9. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de la segunda vértebra cervical para población japonesa según Torimitsu et al. [161].

<i>All subjects</i>	
DA	$CS = 2.86 \times DA + 52.20$
AS	$CS = 2.51 \times AS + 40.84$
DS	$CS = 1.87 \times DS + 69.93$
<i>Male subjects</i>	
DA	$CS = 1.68 \times DA + 102.17$
AS	$CS = 1.37 \times AS + 100.88$
DS	$CS = 0.92 \times DS + 122.16$
<i>Female subjects</i>	
DA	$CS = 1.50 \times DA + 83.00$
AS	$CS = 1.32 \times AS + 92.04$
DS	$CS = 2.24 \times DS + 71.91$
All subjects	$CS = 1.60 \times DA + 1.00 \times AS + 0.83 \times DS + 11.25$
Male subjects	$CS = 1.18 \times DA + 0.79 \times AS + 0.51 \times DS + 56.02$
Female subjects	$CS = 1.58 \times DA + 0.50 \times AS + 1.09 \times DS + 21.65$

CS: estatura del cadaver, DA: Longitud de la parte superior de los huecos hasta el borde antero inferior del cuerpo vertebral, AS: Longitud desde el borde antero inferior del cuerpo vertebral hasta el punto de la apófisis espinosa posterior, DS: Longitud desde la parte superior de los huecos, hasta el punto de la apófisis espinosa posterior.

D) DETERMINACIÓN DE LA TALLA A PARTIR DE HUESOS FRAGMENTADOS

En algunos casos no se disponen de los huesos completos ya que el problema es que los huesos largos son frágiles, presentándose a menudo fragmentados, lo cual imposibilita el uso de los dos métodos anteriormente descritos.

Muller en 1935 fue el pionero en el estudio de los huesos fragmentados [170]. Más tarde, en 1969, Steele y Mckern desarrollaron una serie de fórmulas para poder determinar la estatura en base a una serie de fragmentos de huesos [171].

Steele y McKern perfeccionaron el método de Müller [172] para el cálculo de la estatura a partir de huesos fragmentados, que se basaba en el porcentaje que supone cada segmento con respecto al total del hueso [171]. Utilizaron una muestra amerindia

excavada entre St. Francis y el río Mississippi, en Arkansas (EEUU), que constaba de 117 sujetos. Posteriormente Steele en 1970, seleccionó 207 individuos de la Colección Terry y diseñó otras fórmulas aplicables a caucasoides y negroides de ambos sexos para fémur, tibia y húmero [172]. Proporcionó fórmulas regresivas para obtener la longitud máxima del hueso a partir de uno o más segmentos del mismo, y otras fórmulas para estimar la estatura a partir de ellos.

Otros autores posteriores también estudiaron la estimación de la estatura a través de huesos fragmentados, como Chibba et al. [148] y Bidmos [163].

Merece la pena incidir en el método desarrollado por Steel en 1970. Este método está basado en definir cinco puntos en el húmero y el fémur, y seis en la tibia, entre los cuales se delimitan unos segmentos de los que se deduce la longitud total del hueso, pudiendo deducir la talla [172].



Así obtenemos los cuatro segmentos del fémur: F1, F2, F3 y F4

1	El punto más proximal de la cabeza del fémur.
2	El punto medio en el trocánter menor.
3	La extensión más proximal de la superficie poplítea en el lugar donde las líneas supracondilares medial y lateral se separan paralelamente, por debajo de la línea áspera.
4	El punto más proximal de la fosa intercondílea.
5	El punto más distal del cóndilo medial.

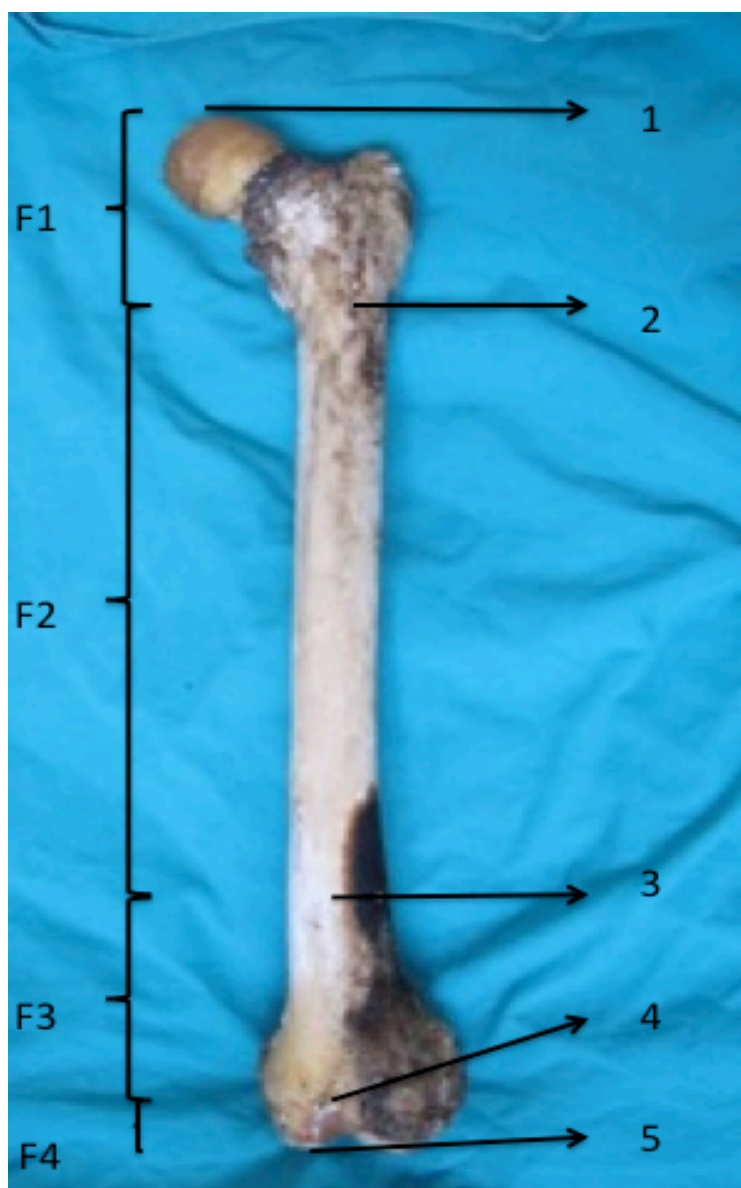


Figura 14. Puntos de referencia del fémur según Steel [172]

En la figura 15 podemos observar como se obtienen los cinco segmentos de la tibia: T1, T2, T3, T4 y T5.

1	El punto más proximal de la eminencia intercondilea
2	El punto más proximal de la tuberosidad tibial
3	El lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad.
4	El lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje).
5	El borde proximal de la <i>facies</i> articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial)
6	El punto más distal sobre el maléolo medial.

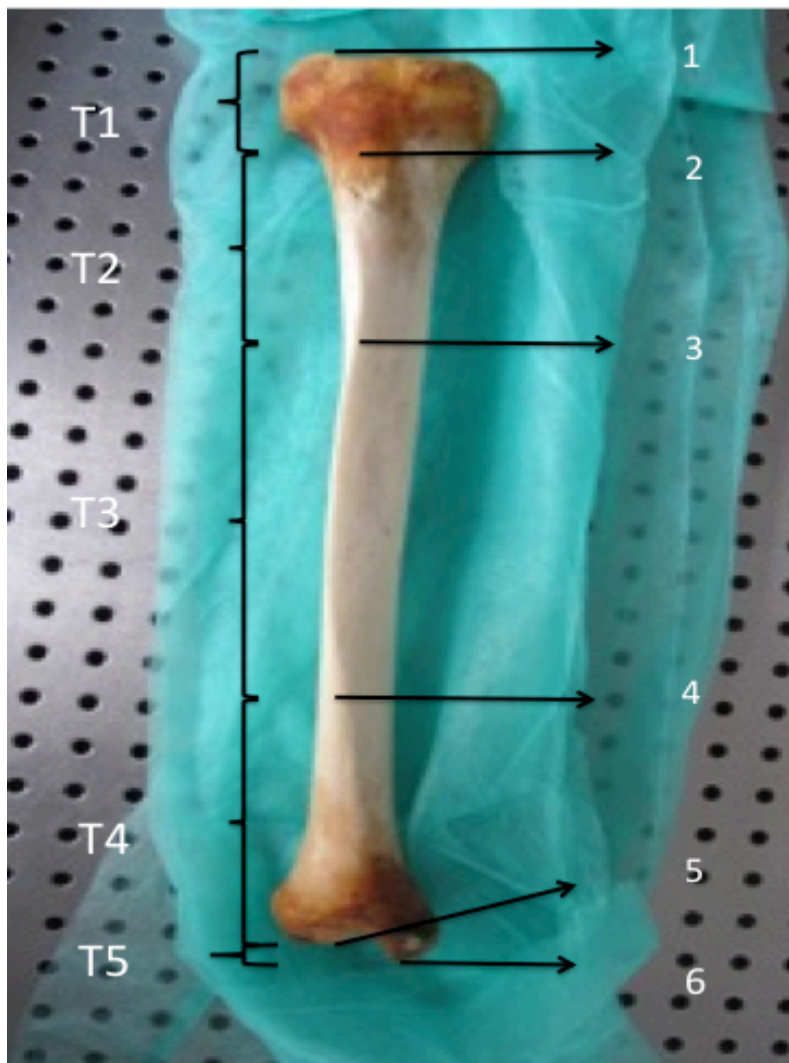


Figura 15. Puntos de referencia de la tibia según Steel [172]

En la figura 16 se observan los cuatro segmentos del húmero: H1, H2, H3 y H4.

1	El punto más proximal de la cabeza humeral.
2	El punto más distal de la circunferencia de la cabeza humeral.
3	El borde proximal de la fosa olecraniana.
4	El borde distal de la fosa olecraniana.
5	El punto distal de la tróclea.



Figura 16. Puntos de referencia del húmero según Steel [172]

Una vez tomada la longitud entre los diferentes longitudes del hueso, su valor se sustituye en

las fórmulas para el cálculo de la estatura (ver Tablas 36-41 en ANEXO II).

4.2.4. ESTUDIOS RADIOLÓGICOS EN LA IDENTIFICACIÓN MÉDICO LEGAL

La tecnología radiográfica es una herramienta eficaz en casi todas las fases de investigación médico-legal. Desde la determinación de la causa y mecanismo de la muerte, pasando por la necroidentificación en casos individuales y en desastres masivos, sin dejar de lado la estimación de la edad de individuos vivos, la documentación de traumatismos, accidentales o no, y como en nuestro caso, la estimación de la estatura en restos óseos [158].

La identificación de los cadáveres se realiza, en ocasiones, recurriendo a técnicas radiológicas cuando no existen otros métodos disponibles como ocurre en situaciones de esqueletización, carbonización o restos cadavéricos. Si existen registros radiológicos *ante mortem* (AM) de la posible víctima, se puede realizar la identificación mediante el estudio comparativo con una radiografía *post mortem* (PM).

La técnica de la Antropometría Radiográfica fue definida por Levinson ya en 1899. En 1921, Schuller planteó la posible utilización de la radiografía de los senos frontales como un elemento identificativo. Distintos autores como Cubert y Law (1927), Myers (1928), Luís Delclós (1934), Turpin y Tisserand (1942), Schuller (1943), Thorne y Thyberg (1953), Neiss (1962), Asherson (1965), Zubizarreta (1966) Mann y Fetteh (1968) utilizaron como método de identificación la individualidad de los senos frontales [173].

En la actualidad el estudio radiológico de los senos frontales permite realizar una identificación positiva, ya que no hay dos individuos que tengan senos frontales idénticos incluidos gemelos univitelinos. La variación individual del tamaño de los senos frontales y paranasales, así como las células aéreas de los procesos mastoideos fueron mencionadas por primera vez por Schüller en 1921. En un estudio basado en una serie de 100 radiografías, incluyendo un par de placas de gemelos idénticos, el investigador concluyó que las diferencias individuales encontradas son lo suficientemente distintivas como para que puedan ser utilizadas en el campo de la identificación forense [174].

Las posibilidades de los métodos radiológicos con fines identificadores son muy amplias. A partir de un estudio radiográfico podemos determinar por ejemplo cualquier alteración ósea que tuviese el individuo.

La observación de los surcos y canales vasculares en el cráneo ha sido propuesta como indicadora radiográfica para la identificación positiva. El curso de la arteria meníngea media que es claramente visible en la mayoría de radiografías del cráneo, así como las granulaciones de Pacchioni, que se encuentran en el frontal y en los parietales, varían extremadamente tanto en apariencia como en tamaño y curso entre distintos individuos. En un estudio retrospectivo realizado por Messmer y Fierro, se observó que los patrones vasculares cambian muy poco a lo largo de la vida del individuo, excepto el incremento simétrico en el tamaño, que refleja el crecimiento [175]. A pesar de que la profundización de la arteria meníngea media y del complejo venoso, es uno de los fenómenos que se han destacado en la literatura científica como indicadores de edad [176]; el recorrido vascular se mantiene constante a lo largo de la vida y por lo tanto resulta útil como indicador de identificación positiva [177,178].

El patrón de las suturas craneales, expresado como tenues líneas grises en la placa radiográfica, ha sido propuesto como otro indicador de identidad por Sekharan, examinando su fiabilidad en una serie de 320 radiografías [179]. Sin embargo, cabe indicar que a partir de los 45 años las suturas empiezan a obliterarse dejando lagunas en el patrón, lo cual influye en su fiabilidad como indicador de identidad [180].

Finalmente, el tamaño y la configuración de la silla turca fueron destacadas como indicadores de individualidad por Voluter [181] en 1959, característica utilizada por Singleton en la identificación de las víctimas del navío Noronic [182].

La utilización de la radiografía como elemento diagnóstico de la práctica odontológica se conoce a partir de 1898. Su uso como utensilio forense en la identificación de restos cadavéricos se menciona en el primer texto de Odontología Forense escrito por el Dr. Oscar Amoëdeo en 1898, en el que se publica una reproducción de lo que parece ser una proyección panorámica de la dentición [183].

Dada la naturaleza de los tejidos dentales y que algunos de los materiales utilizados para su restauración son extremadamente resistentes a los elementos químicos y físicos, la identificación dental es uno de los métodos probablemente mejor conocidos y más frecuentemente usados en la identificación de restos humanos [184].

También son útiles los estudios radiográficos en balística ya que existen heridas causadas por proyectil de arma de fuego que por su morfología dificultan identificar si corresponden al orificio de entrada o de salida, y dificultan el cálculo de la cantidad de proyectiles que deben estar alojados en el cadáver, y que por tanto deben ser recuperados, durante un estudio medico legal. En particular, las lesiones antiguas que han pasado por un proceso de cicatrización, es uno de los escenarios a los que se ve expuesto el médico forense, en casos de muertes violentas producidas por heridas por proyectiles de una o más armas de fuego. En estos casos, es importante apoyarse en el estudio radiológico, para identificar la cantidad de balas que se encuentran en el cuerpo.

En el estudio de muertes asociadas a asfixia mecánica es de particular importancia para determinar si la asfixia fue producida por un tercero (estrangulación) o fue auto infligida (ahorcamiento).

Muchos de los datos que se obtienen de la escena pueden ayudar a determinar cuál fue la manera de muerte en estos casos: si fue un homicidio, causado por una estrangulación, o un suicidio, por ahorcamiento. Sin embargo, son muchos los casos en los que la escena no da información suficiente para poder determinar las circunstancias en las que ocurrieron los hechos. Por esta razón, un estudio adecuado del cadáver llevará al medico a la determinación correcta del modo de muerte.

La radiología ayuda a identificar las lesiones de estructuras del cuello, que orientan a la diferenciación entre una estrangulación y un suicidio. En particular, la radiografía del esqueleto laríngeo y del hueso hioides es útil para lograr este objetivo; puesto que la presencia de fracturas en estos se encuentra asociada a la estrangulación.

Se puede llevar a cabo también una identificación individual a través de una antropometría radiográfica, realizando diferentes medidas óseas para poder establecer mediante fórmulas de regresión, las determinaciones de sexo, edad y estatura de los restos hallados, como en nuestro caso.

En algunos casos, los autores optaron por medir radiológicamente huesos, desarrollando fórmulas a partir de mediciones sobre voluntarios vivos obteniendo de este modo fórmulas útiles para lograr la identificación de cuerpos fragmentados y con víctimas no

esqueletizadas. Una de las principales ventajas de utilizar la radiología es la visualización de las estructuras esqueléticas sin la necesidad de eliminar el tejido blando circundante, evitando así mayor mutilación del cuerpo y permitiendo, en caso necesario, ser utilizados en individuos vivos

Numerosos autores han llevado a cabo estas técnicas como Kranioti, en la que el sexo se determinó mediante estudio radiográfico digital del húmero [75]. En cuanto a la estatura cabe destacar el trabajo de Muñoz et al. [140] y Petrovečki et al. [147], los autores estimaron la estatura a través del análisis radiométrico de los huesos largos, tanto de la parte superior como de la inferior. Hasegawa, de la misma manera que otros ha relacionado las dimensiones de los huesos largos de las extremidades superior e inferior para el cálculo de la altura [149]. Y actualmente, los que han usado los huesos más pequeños para estimar la estatura como Sağır [185].

Los métodos radiográficos más conocidos para la estimación de la edad a través del estudio de imágenes radiográficas son los de Walker y Lovejoy [186]

Norma radiográfica para determinar la edad en la clavícula

Walker y Lovejoy en 1985 mostraron, en un estudio comparativo de varios huesos de 103 individuos analizados que la clavícula representa el mejor hueso para la estimación de la edad, sin importar el sexo [186]. Sobre eso, el método es aplicable en casos en que los restos se encuentren fragmentados e incompletos. Los autores determinaron las siguientes fases según los diferentes grupos de edad:

Fase I: 18-24 años. La capa posterior es prominente y gruesa; la cavidad medular está completamente llena de trabéculas densas que se caracterizan por una granulosidad fina, densamente empacadas y que tienden a alinearse en capas paralelas. La capa posterior es de grano fino, pero no necesariamente denso. La metáfisis esternal y lateral están llenas de trabéculas finamente granuladas.

Fase II: 25-29 años. La fase 2 es similar a la anterior, pero con leve evacuación de metáfisis. La capa posterior muestra poco cambio. Hay una ligera tosquedad en las trabéculas medulares. La capa anterior muestra ligero incremento de la trabeculación. No se observa incremento de la traslucidez.

Fase III: 30-34 años. Continúa la evacuación de metáfisis, la cual contiene menos trabéculas y menos granulosas. Hay un ligero adelgazamiento de la capa posterior, aunque sin ondulación. La cavidad medular continúa rellena aunque con aspecto denso; el patrón laminar es menos evidente (ver fase 1).

Fase IV: 35-39 años. Hay una significativa reducción de la capa posterior, especialmente en las extremidades esternal y lateral. Continúa la evacuación de la metáfisis; las trabéculas adquieren un aspecto tosco. Se observa poco o ningún patrón laminar en el hueso. Hay un incremento significativo en traslucidez.

Fase V: 40-44 años. La metáfisis esternal y lateral puede contener solamente trabéculas toscas; las trabéculas de la cavidad medular tienen un aspecto definido tosco. Es evidente el adelgazamiento de la capa posterior de las epífisis esternal y lateral y un significativo adelgazamiento de la capa anterior con evidente trabeculación. En general, se aprecia un ensanchamiento del lumen medular.

Fase VI: 45-49 años. La fase seis es una continuación de las tendencias de la fase cinco, pero ligeramente aceleradas. Es posible un sobre envejecimiento; un incremento general en la traslucidez indica pérdida sistemática de tejido óseo.

Fase VII: 50-54 años. El rasgo distintivo lo constituyen las trabéculas muy toscas; hay una pérdida significativa de hueso pero sin evacuación del lumen central medular; la corteza se reduce en todos los puntos.

Fase VIII: 55 o más años. Es difícil distinguir la fase ocho de la fase anterior a causa de la variación biológica en la rata individual de pérdida ósea. La seriación sigue los mismos criterios anteriores; a mayor edad mayor traslucidez y trabeculación. Generalmente hay una gran reducción tanto a nivel cortical como trabecular, que son muy toscas o ausentes. Puede faltar una significativa trabeculación en la metáfisis esternal y lateral. La trabeculación cortical de la capa anterior puede ser extrema. Hay una marcada ondulación cortical a lo largo de la cavidad medular.

Método radiográfico para determinar la edad en el fémur proximal.

Los mismos Walker y Lovejoy describieron varias fases de evolución en el fémur proximal relacionándolas con la edad del individuo [186].

Fase I: 18-24 años. Las áreas corticales están bien definidas y observan bordes afilados. Las trabéculas se observan finamente entrelazadas y llenan completamente la cabeza femoral. Las trabéculas secundarias son casi tan densas como los sistemas primarios (grupos que forman arcos comprensivos y trasversos) así que es difícil distinguirlos; también ocupan el extremo proximal de la cavidad medular. La capa externa es extremadamente densa y gruesa, medialmente más prominente.

Fase II: 25-29 años. En la mayoría de los aspectos es similar a la anterior pero con una densidad ligeramente reducida y pérdida ósea localizada, especialmente en el triángulo de Ward. La translucidez en el trocánter mayor es más marcada; aparecen algunas áreas pequeñas de incremento de la translucidez en las trabéculas secundarias de la cabeza y el cuello. Las trabéculas primarias son equivalentes a la fase 1.

Fase III: 30-34 años. Hay una considerable reducción en la translucidez general, especialmente en las trabéculas secundarias de la cabeza y el cuello. Las trabéculas principales de soporte son aún fuertes y están finamente entrelazadas. La capa medial es fuerte pero con alguna pérdida de la lateral. El triángulo de Ward está claramente definido por el incremento de la translucidez. La reabsorción general de las trabéculas secundarias permite una clara definición de los grupos primarios.

Fase IV: 35-39 años. Similar a la fase previa, pero con una gran translucidez de todos los grupos trabeculares. Las trabéculas de la cabeza son ligeramente más toscas que en la fase previa pero evidencian engrosamiento de las trabéculas individuales. Es difícil evaluar esta fase porque no hay una distinción de rasgos que la separe de la fase anterior.

Fase V: 40-44 años. El trocánter mayor muestra marcada reabsorción. El patrón trabecular es menos denso en todas las áreas y las trabéculas individuales muestran fuerte tendencia hacia la tosquedad. La porción inferior de la cabeza observa pérdida significativa de trabéculas secundarias. Una pérdida similar es vista en las cavidades medulares. El triángulo de Ward se aprecia virtualmente vacío por una significativa trabeculación.

Fase VI: 45-49 años. Hay una continua pérdida de hueso en la cabeza femoral, incluyendo la porción superior; se incrementa la pérdida de trabéculas secundarias en el canal medular y cuello; hay una significativa reducción de las trabéculas primarias. La cortical continúa siendo fuerte y muestra mayor contraste en translucidez del hueso

trabeculado con relación a la fase precedente. Se aprecia un leve ondulamiento de la capa lateral.

Fase VII: 50-59 años. Las trabéculas primarias se tornan toscas y se reducen ampliamente en número. Los patrones de trabéculas secundarias son casi ausentes. Aunque el grupo primario trasverso continúa presente, es no obstante tosco y débil. Hay una pérdida generalizada de la cortical. Esta fase es fácilmente reconocible por un notorio incremento en la translucidez general del espécimen.

Fase VIII: 60 o más años. No hay trabeculación secundaria evidente. El grupo transversal también se ha reabsorbido. En la cabeza femoral permanecen solamente trabéculas primarias de sostén (en condiciones marcadamente toscas). Hay una marcada ondulación cortical medial y lateral. La cavidad medular está prácticamente vacía.





JUSTIFICACIÓN



Las cuestiones relacionadas con la identificación de las personas tienen una enorme importancia en Medicina Legal, llegando en algunas ocasiones a centrarse el problema judicial exclusivamente en tal identificación. La realización de este tipo de estudios debe contribuir a proporcionar las herramientas necesarias para poder avanzar en la metodología empleada dentro de la Antropología Forense en la identificación de un cadáver.

Como ya fue puesto de manifiesto en la Introducción, ante un hallazgo de restos cadavéricos, en muchos casos no se dispone del cuerpo completo, ni son buenas las condiciones de conservación, por lo que las dificultades para su identificación son considerables. Es más frecuente el hallazgo de restos óseos que otro tipo de restos, de ahí que hayamos centrado el trabajo en el estudio de restos óseos, para poder estimar la estatura en vida y el sexo, unas de las características identificativas.

La tesis se centra en los metatarsianos y las dos primeras vértebras cervicales. Esto es debido a que los huesos pequeños parecen ser más resistentes al tiempo debido en parte a estar protegidos por el calzado y ropa y las características de sus propios tejidos y localización anatómica. Además, los metatarsianos y vértebras son huesos que, por su pequeño tamaño pueden recuperarse fácilmente, al contrario que los huesos largos que por sus propias dimensiones son más frágiles y sus fragmentos dificultan más el estudio, por lo que pueden ser útiles para la identificación de rasgos como la estatura y sexo del individuo.

En ambos casos se ha optado por la técnica radiológica en la medición de diversas longitudes. Se eligió inicialmente usar imágenes tomadas con TC por su precisión y reproductibilidad. Esto soslaya el hecho del error que la medición directa de los restos óseos puede desencadenar debido a los restos de tejido blandos.

La relación entre los huesos y la estatura varía ampliamente según sea la muestra de población objeto del estudio. Las variaciones debidas a la raza, ambiente, distribución geográfica, factores hereditarios, desarrollo socioeconómico, régimen alimentario y tipo de trabajo que se ejerce, son demasiado amplias como para que podamos aplicar una fórmula general en la determinación de la estatura de todas las poblaciones. Todo esto obliga a utilizar fórmulas de regresión específicas para cada población de referencia. De ahí la importancia de elaborar una base de datos obtenida con mediciones de cada población.

Es incuestionable la importancia y la necesidad de disponer de estudios de población portuguesa y gallega para poder crear fórmulas de regresión para estimar la estatura y de métodos para determinar el sexo, sin sesgos, útiles, no solo para gallegos, sino también para población española y portuguesa, ya que no existen. Al no existir estudios de ninguna población basados en la C1, estas fórmulas podrían ser de utilidad también para las poblaciones de los países de nuestro entorno.





OBJETIVOS



Como objetivo principal se pretende aportar una metodología adecuada a fines forenses, para la estimación de la estatura y el sexo a partir de restos óseos.

Y para ello se plantean cinco objetivos secundarios:

- Desarrollar un método radiológico para la estimación de la estatura a través de la medición radiológica de la longitud del primer y segundo metatarsiano en una muestra poblacional gallega.
- Además, pretendemos aportar fórmulas que permitan dicha estimación en diferentes circunstancias: restos óseos de mujer, restos óseos de varón, sexo desconocido.
- Desarrollar un método de Tomografía Computarizada para la estimación de la estatura y determinación del sexo por medio de mediciones del primer y segundo metatarsiano. Comprobar su utilidad y llevar a cabo un estudio comparativo con el método de medición ósea directa.
- Desarrollar un método de Tomografía Computarizada para estimar la estatura utilizando la primera y segunda vértebra cervical de una muestra poblacional gallega.
- Analizar el papel de la Radiología dentro del campo de Medicina Legal.
- Finalmente aportar fórmulas que permitan la estimación en diferentes circunstancias: restos óseos de mujer, restos óseos de varón, sexo desconocido.





MATERIAL Y MÉTODOS



1. MUESTRA:

La presente investigación se llevó a cabo diseñando tres estudios (ver **Anexo I**):

- ❖ **UTILIDAD DEL PRIMER Y SEGUNDO METATARSIANOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA (METEG).**
- ❖ **UTILIDAD DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA PARA LA ESTIMACIÓN DE ESTATURA Y DETERMINACIÓN DEL SEXO EN HUESOS METATARSIANOS (TCES).**
- ❖ **UTILIDAD DE LA PRIMERA Y SEGUNDA VÉRTEBRA CERVICAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA (EVEC).**

Los dos primeros están relacionados con la estimación de la estatura utilizando medidas del primer y segundo metatarsiano y el tercero basado en mediciones de la primera y segunda vértebra cervical.

En adelante y para una mayor simplificación, nos vamos a referir a los estudios previos por los acrónimos creados haciendo referencia a la finalidad de cada estudio: METEG, TCES y EVEC.

A) El primer trabajo (METEG) se llevó a cabo en una muestra de 228 voluntarios adultos sanos caucásicos (118 mujeres y 110 hombres) gallegos. Fueron incluidas en este estudio personas que se encontraban dentro del rango de edad entre 19 y 82 años y de ascendencia gallega. Los voluntarios fueron “reclutados” de pueblos y vecindades circundantes de Monforte de Lemos y Santiago de Compostela [187].

Se hizo una selección de la muestra según unos criterios de idoneidad por los cuales fueron rechazados de la muestra aquellas personas que tuvieran patologías, deformidades esqueléticas o fracturas que pudiesen interferir en las mediciones del hueso.

La medición de la estatura en los voluntarios se llevó a cabo con un tallímetro de la siguiente manera:

- El tallímetro ha de estar ubicado firmemente en una superficie plana que permita establecer un ángulo recto de 90° con respecto a su base.
- La persona se situará de forma erguida, con ropa ligera para poder observar su postura y descalza. Ha de situarse en la parte central del tallímetro, con hombros, nalgas y la parte posterior de la cabeza en contacto con el tablero.
- Los brazos han de colgar a ambos lados de manera natural.
- Retirar todo tipo de adornos en el pelo, coletas...que puedan variar la medición.
- Descendemos el tope hasta hacer contacto con la cabeza.

La medición se realizó dos veces y se calculó la media para implementar las fórmulas de regresión.



Figura 17. Medición de la estatura a un voluntario del estudio

B) El segundo estudio, TECES se llevó a cabo en una colección de huesos (1º y 2º metatarsianos) ya usada previamente por otros autores [138,190]. Esta muestra se compone de huesos identificados por sexo, edad y, lo más importante de todo para lograr nuestros objetivos, la altura. Los restos óseos procedían de cadáveres autopsiados entre 2000 y 2001 en el Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, IP (INMLCF, I.P.) portugués. De los cadáveres seleccionados se extrajeron el primer y el segundo metatarsiano del pie izquierdo. Se seleccionó el lado izquierdo por ser el utilizado en los estudios de Antropología Física relacionados con la estatura. Es importante mencionar que la extracción se llevó a cabo en virtud del Decreto Ley portugués nº 274/99, de 22 de julio, que regulaba el uso de cadáveres para la enseñanza y la investigación científica, habiendo sido consultado a tal efecto el archivo independiente del Registro Nacional De No Donantes (RENDA). Para ser incluidos en la muestra útil, los metatarsianos debían cumplir una serie de criterios con el fin de homogeneizar la muestra [188]:

- edad del individuo en el momento de la muerte de entre 20 y 75 años;
- ausencia de fracturas en la pierna izquierda;
- ausencia de fracturas u otras condiciones que provoquen cambios en la altura del cuerpo;
- ausencia de recogida de otros huesos en la pierna izquierda;
- ausencia de patología evidente en los pies, como anquilosis, deformidades, osteofitos.

La muestra proviene de 110 cuerpos, de los cuales 41 fueron objeto de una autopsia en la Delegación del Centro y 69 en la Delegación del Sur INMLCF, IP. Se extrajeron un total de 220 huesos (los dos primeros metatarsianos de cada pie izquierdo) de los cuales se excluyeron dos segundos metatarsianos porque estaban incompletos en su extremo proximal, habiendo sido determinada la altura por lo tanto de 108 individuos en total. Todos los sujetos eran caucásicos de nacionalidad portuguesa.

El lugar de la autopsia, el número de proceso de identificación, la edad, el sexo y la estatura corporal fueron incorporados a una base de datos.

En cuanto al sexo de los individuos que componen la muestra, 90 de ellos eran hombres (81,8%) y 20 mujeres (18,2%).

La edad promedio en el momento de la muerte fue de $46,06 \pm 12,07$, con valores comprendidos entre 20 hasta los 72 años. Con respecto a los individuos del sexo masculino, tenían una edad media de $46,20 \pm 12,28$ años y las mujeres $45,37 \pm 11,29$ años.

Los cadáveres fueron medidos en la posición supina sobre la mesa de autopsias después de haber sido desnudados y de haber reducido cualquier rigor mortis presente en los miembros inferiores, con el objetivo de eliminar la posible flexión en las rodillas y la disminución consecutiva de la altura real.

Esta medición se realizó antes de la autopsia, con una regla graduada en centímetros para cadáveres, midiendo la distancia entre la superficie de vértice craneal y plantar del talón, exactamente de la misma manera que se haría en un individuo vivo. El valor fue registrado por el autor, en centímetros, en la base de datos mencionada anteriormente, bajo la designación Ec.

Una vez realizada la autopsia se extrajeron los metatarsianos. La extracción fue realizada forzando un movimiento de extensión del pie y haciendo una incisión con abertura lateral en forma de L invertida, para que la rama horizontal se encontrase en frente del tarso y se mantuviese el borde vertical medial del pie. Después de llegar a la piel y al tejido subcutáneo, se realizó la sección de los tendones, ligamentos y músculos para desarticularlos, concluyendo finalmente con sutura de la piel.

Los huesos fueron agrupados por pares (primer y segundo metatarsiano de cada individuo) y envueltos en papel de aluminio debidamente etiquetados con la identificación. Posteriormente se procedió a guardarlos en bolsas de plástico en un congelador a una temperatura de -20°C .

C) El tercer estudio, (EVEC) se dirigió a valorar la utilidad de las dos primeras vértebras cervicales en la estimación de la estatura [189].

La muestra utilizada consistió en 200 individuos sanos de la población gallega con edades comprendidas entre 15 y 84 años, los cuales participaron voluntariamente en el estudio.

Se descartaron todos aquellos individuos con patologías, deformidades o fracturas óseas que pudiesen interferir en las mediciones.

Todos los participantes fueron medidos colocando al voluntario descalzo, en posición erguida y mirando hacia el frente con la espalda apoyada en una regla graduada y estirada, y los brazos extendidos a los lados. La cabeza, las nalgas y los talones estaban en contacto con el plano vertical del instrumento. Como referencia horizontal se usó el plano horizontal de Frankfurt (una línea imaginaria desde el reborde orbitario inferior en el mismo plano horizontal que el conducto auditivo externo). El extremo superior del instrumento se bajó suavemente, aplanando el pelo y haciendo contacto con el vértice del cráneo (Fig. 18). La medición se registra dos veces y la media fue la usada para obtener la fórmula de regresión.

2. MEDICIÓN ÓSEA

Todas las mediciones se llevaron a cabo dos veces por el mismo observador pero con un espacio de tiempo suficiente entre ellos para no tener conocimiento de los valores obtenidos en la primera medición, evitando la existencia de error intra-observador. Así se obtuvieron dos series de mediciones. Finalmente, se calculó la media de cada par de valores correspondientes para el mismo tamaño de ese hueso, y se registró en milímetros. Las medias resultantes se utilizaron para desarrollar las fórmulas.

A) METEG: El primer y segundo metatarsianos del pie izquierdo de los 228 voluntarios del primer estudio [187] se midieron con una radiografía dorso-plantar en un visor digital de imágenes médicas con la aplicación Java 1607 UDIAT, desde una RAIM (Archivo Radiológico y Gestión de la Imagen) de uso común en los hospitales. Aunque la medición digital es calibrada por el sistema en sí mismo, con el fin de minimizar los errores se utilizó una regla metálica para confirmar la precisión. Todas las mediciones se llevaron a cabo dos veces y se registró su valor en milímetros.



Figura 18. Dimensiones en radiografía dorso-plantar de pie izquierdo. M2, longitud máxima del 2º metatarsiano; M1, longitud máxima del 1º metatarsiano [187].

B y C) TECES Y EVEC: En estos estudios las imágenes fueron tomadas con un “dental scan” un aparato que utiliza técnicas de tomografía computarizada. El dispositivo presenta un haz de rayos X de cono de 23,8 cm de ancho por 19,2 cm de alto, con un solo giro de 360 grados y se fijó en 120 kV y mA 5. Las imágenes obtenidas tienen un campo de visión (FOV) de 170 mm, una resolución y tiempo de exploración que depende del siguiente protocolo: Resolución de 0,250 con un tiempo de ciclo de 14,7 segundos. Para la visualización de la imagen se utilizaron espesores entre 1 a 0,25 mm, siendo tomado en todos los casos el grosor del corte mínimo posible. Las imágenes fueron exportados en formato DICOM y se procesaron posteriormente con el software i-CATVision™ Versión 1.9.2.17 (Copyright © 2004-2008, Imaging Sciences International, Hatfield, PA, EE.UU.). Para el análisis y la medición de cada muestra se utilizó la herramienta de medición lineal en el Multi Reconstrucción Planar (MPR) de dicho software [188,189].



Figura 19. TC Dental empleado para tomar las imágenes y realizar las mediciones en metatarsianos y vértebras.

3. DIMENSIONES

A) METEG se llevaron a cabo varias mediciones, pero solo resultaron suficientemente convincentes, y comparables, dos de ellas, M1 y M2 [187], definidas y usadas por Cordeiro e al. [138].

- M1: Longitud máxima del primer metatarso, la distancia entre la punta de la tuberosidad y el punto más distal de la cabeza.

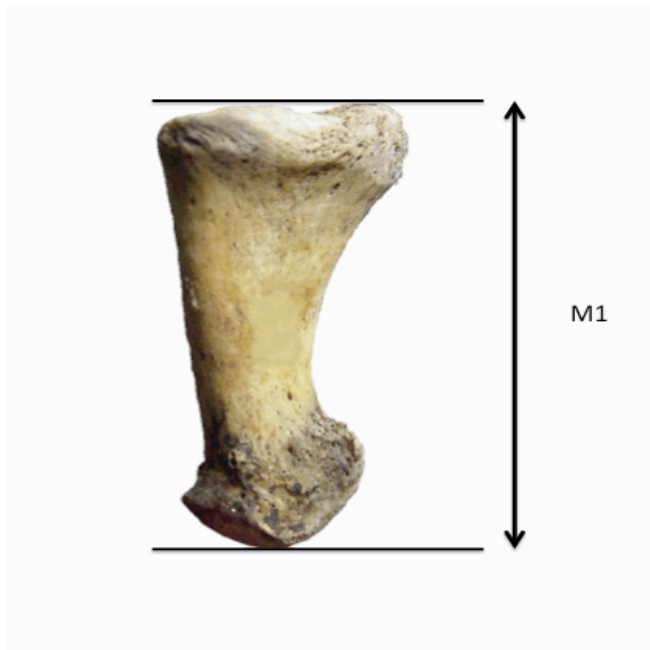


Figura 20. Dimensión de M1 en primer metatarsiano.

- M2: Longitud máxima del segundo metatarsiano, la distancia entre la punta proximal y el punto más distal de la cabeza.



Figura 21. Dimensión de M2 en segundo metatarsiano.

B) TECES]: realizamos las siguientes mediciones de acuerdo con el estudio previo de Cordeiro et al. [138] para permitir comparar la medición directa con la digital sobre la imagen escaneada, añadiendo una más, la anchura del primer metatarsiano [188]:

- M1 - Longitud máxima del primer metatarso: la distancia entre la punta de la tuberosidad y el punto más distal de la cabeza.
- F1 - Longitud fisiológica del primer metatarso: la distancia entre el punto más profundo de la superficie articular proximal y el punto más distal de la cabeza.

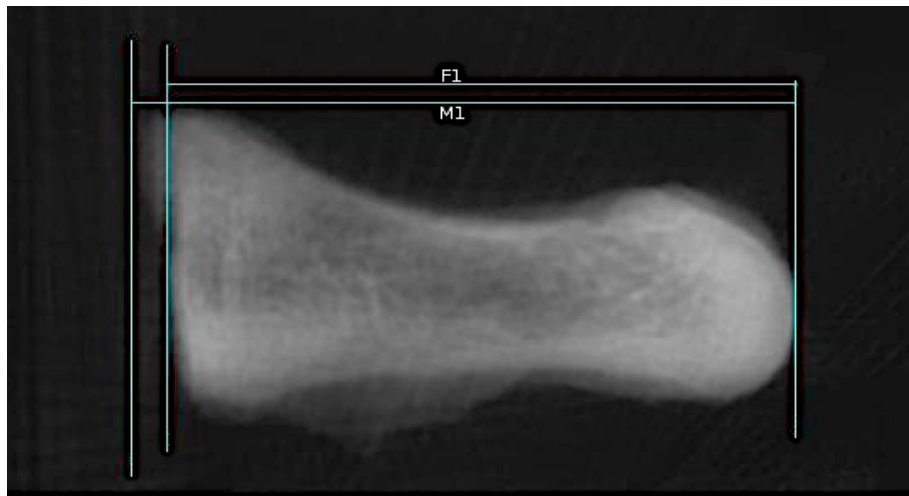


Figura 22. Dimensión M1, longitud máxima del primer metatarsiano y F1, longitud fisiológica en imagen TC del primer metatarsiano.

- M2 - Longitud máxima del segundo metatarsiano: la distancia entre la punta proximal y el punto más distal de la cabeza.
- F2 - Longitud fisiológica del segundo metatarsiano: la distancia entre el punto más profundo de la superficie articular proximal y el punto más distal de la cabeza.

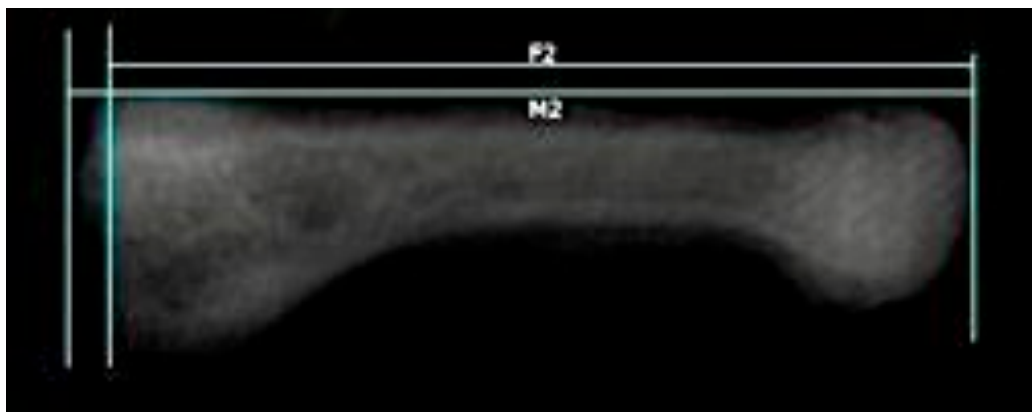


Figura 23. Medición de M2, longitud máxima del segundo metatarsiano y F2, longitud fisiológica del segundo metatarsiano en imagen TC.

- W1 - Ancho del primer metatarsiano: distancia rectilínea entre el medio y el borde lateral del primer metatarsianos medido por la mitad de la diáfisis.

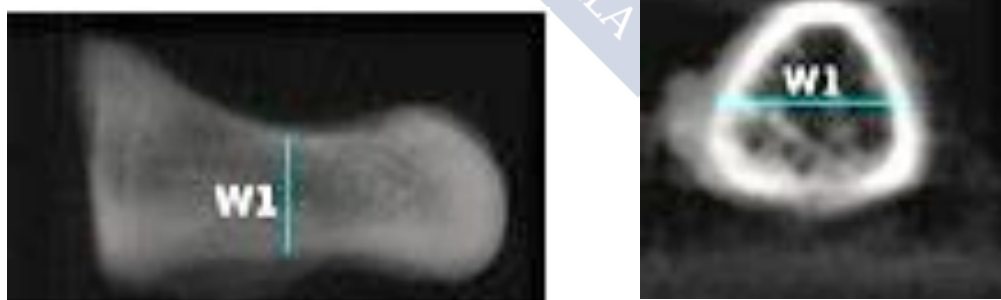


Figura 24. Medición de W1, anchura del primer metatarsiano. Vista longitudinal y sagital en imagen TC.

C) EVEC: Las mediciones en las vértebras cervicales fueron llevadas a cabo utilizando la imagen de 200 TC odontológicos realizados en un dental scan [189].

▪ Dimensiones en la primera vertebra cervical, C1:

-Altura de la vertebra (V): medición en el plano transversal del atlas desde el tubérculo anterior al tubérculo posterior.

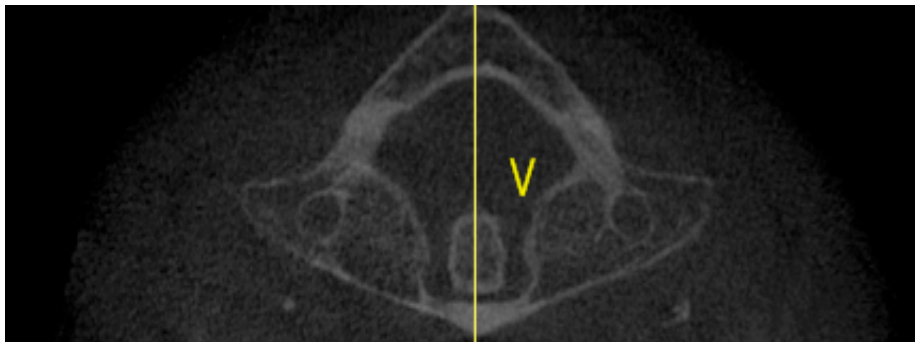


Figura 25. Medición de V, altura de la vértebra en la primera vértebra cervical en imagen TC.

-Interforaminal (I): medición en el plano transversal del atlas desde el borde externo del agujero transverso hasta la misma zona de su contralateral.

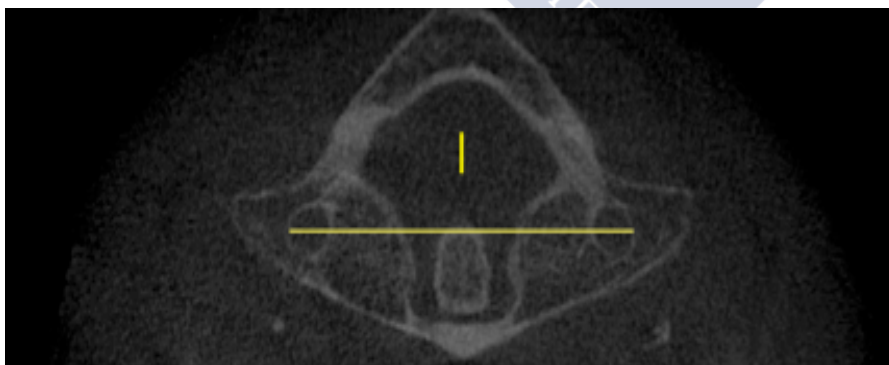


Figura 26. Medición de I, interforaminal en la primera vértebra cervical en imagen TC.

- En la segunda vértebra cervical (C2) se llevaron a cabo las siguientes medidas:

-Diámetro mayor de la apófisis odontoides (DO): medición en el plano transversal de la articulación odonto-axial.

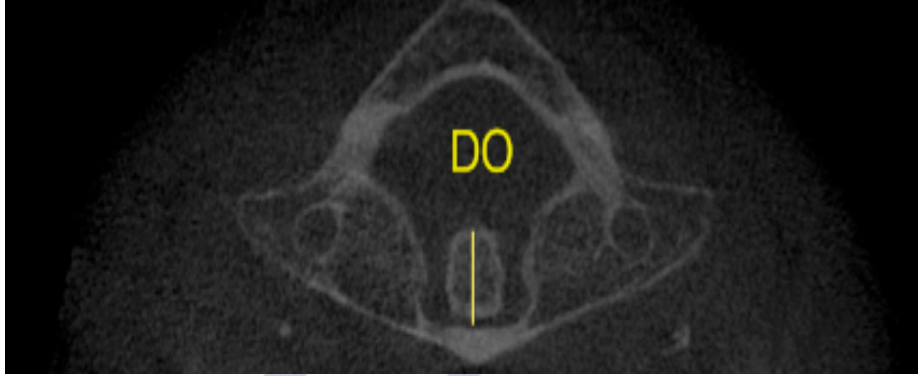


Figura 27. Medición de DO, diámetro mayor de la apófisis odontoides en la segunda vértebra cervical en imagen TC.

-Altura de la Odontoides (O): medida en el plano sagital desde la parte superior de la apófisis odontoides hasta la parte más superior de su escotadura inferior.

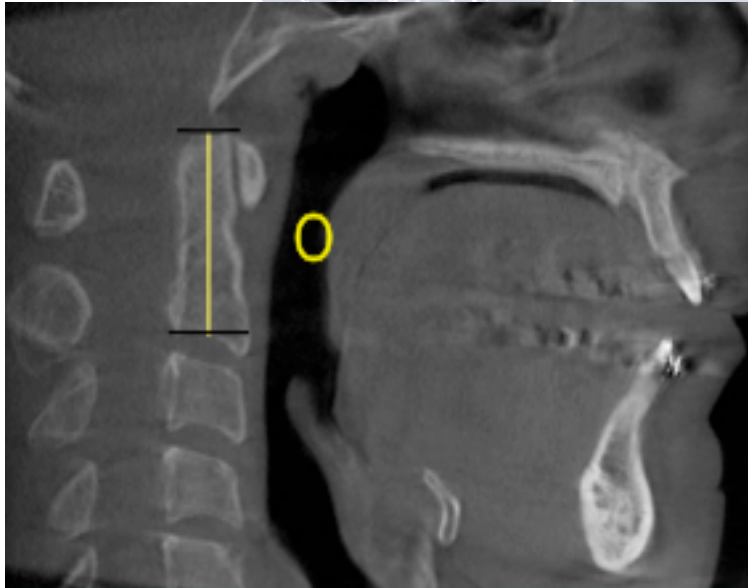


Figura 28. Medición de O, altura de la odontoides medida en plano sagital en la segunda vértebra cervical en imagen TC.

4. MÉTODO ESTADÍSTICO

Para el análisis de los datos hemos utilizado modelos de regresión, los cuales estudian la relación entre dos o más variables y por tanto se puede emplear para construir un modelo que permita predecir el comportamiento de una variable dada con respecto a otra.

Existen varios modelos de regresión posibles para estudiar esta relación, como el modelo lineal, el modelo logarítmico, el modelo cuadrático, el modelo cúbico, entre otros. Cada uno proporciona una ecuación o fórmula de regresión en la que, sustituyendo el valor de una variable llamada independiente o predictora (X), se puede predecir el valor de otra variable llamada dependiente (Y).

La relación entre las variables puede ser de diversa naturaleza, por lo que es necesario establecer un modelo que exprese de forma simplificada dicha relación, empleando para ello una expresión matemática. Esta simplificación implica en primer lugar la necesidad de establecer una función que relacione estas variables, así como los parámetros y coeficientes de la misma. Por ello es necesario recoger la parte del valor de la variable que queremos estimar que el modelo no explica, denominado “perturbación aleatoria o término de error” (ε).

La forma habitual de plantear un modelo de este tipo se representa mediante la expresión:

$$Y = f(X) + \varepsilon$$

En esta ecuación definimos **Y** como la variable dependiente, **f(X)** como la función que relaciona a la variable independiente con la dependiente; y ε como la parte del comportamiento de Y no explicada por la variable independiente. Debe establecerse el tipo de función (lineal, curva...) que puede simplificar adecuadamente la relación que mantienen ambos tipos de variables. Si optamos por la relación lineal utilizando una única variable independiente hablaríamos de un **Modelo de Regresión Lineal Simple** el cual se representaría mediante la siguiente ecuación:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

Donde **Y** es la variable que se quiere estimar, **X** la variable independiente y ε la variación de Y que no explica X; α sería el valor estimado de la variable dependiente cuando el valor de

la variable independiente es 0; y β sería el cambio que experimenta la variable dependiente por cada unidad que cambia la variable independiente. Esta sería la fórmula regresiva con la que hemos obtenido valores en la estimación de la estatura (variable Y) a través de las diferentes medidas óseas (variable X).

Para poder evaluar la relación de estas variables, es necesario el cálculo de una serie de datos que la cuantifiquen. A través del **coeficiente de correlación de Pearson (R)** se mide el grado de relación existente entre las variables. Cuando este coeficiente tiene un valor más próximo a 1 (en caso de asociación positiva), o a -1 (en caso de asociación negativa), mayor es el grado de correlación entre los datos. Con el **coeficiente de determinación o R^2** medimos la proporción de variabilidad total de la variable dependiente respecto a su media que es explicada por el modelo de regresión; si es igual a 1 quiere decir que el 100% de la proporción de la variabilidad es explicada por la regresión.

En este trabajo también hemos calculado, y mostrado, el llamado **coeficiente de determinación ajustado ($\text{Adj } R^2$)**, el cual es una corrección o ajuste del coeficiente de determinación por el tamaño de la muestra y el número de parámetros del modelo.

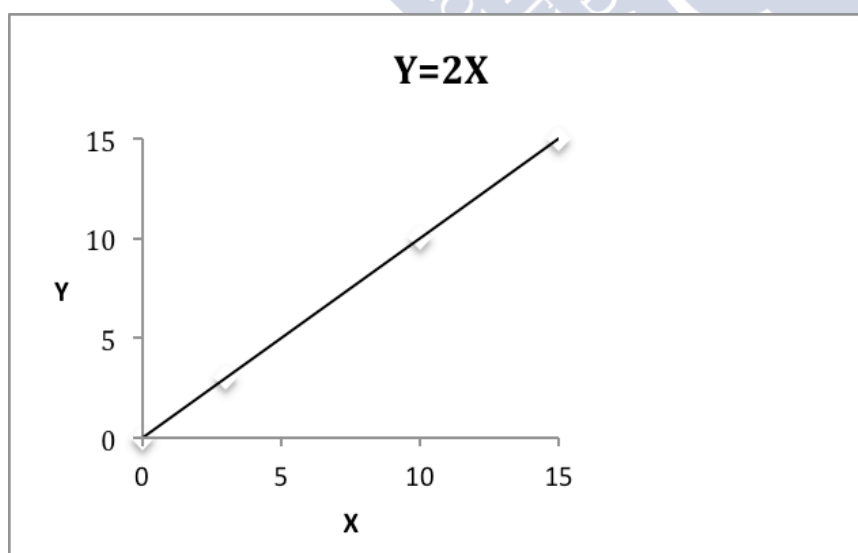


Figura 29. Representación gráfica de una regresión lineal con $R^2 = 1$

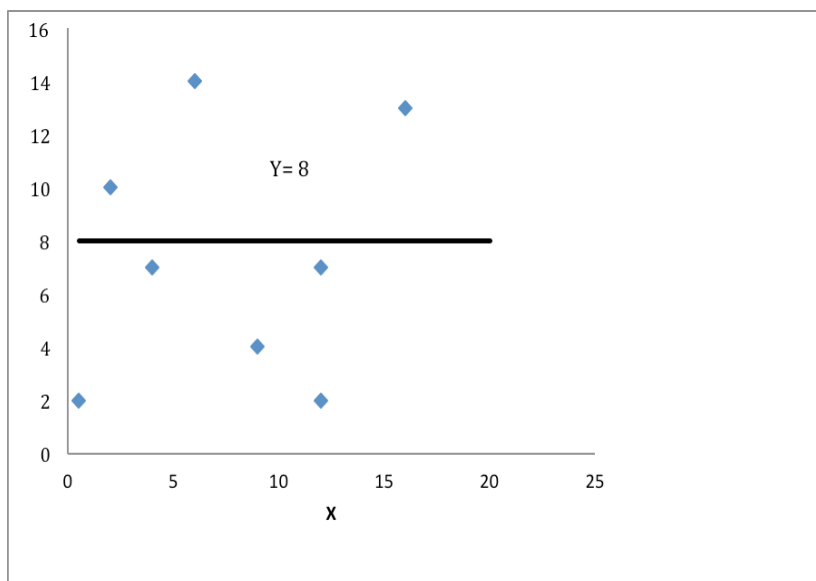


Figura 30. Representación gráfica de una regresión lineal con $R^2 = 0$

Otros datos calculados, y que también presentamos, son los relacionados con la descripción de la muestra, como las **medias** y **desviaciones estándar (sd)** (es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio), las cuales nos permiten una visión global de la misma.

Entre los modelos de regresión anteriormente citados, hemos utilizado fundamentalmente el modelo de regresión lineal dada su sencillez y su aplicación en nuestro campo. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el entorno de R y se pueden ampliar a través de paquetes [191]. Se puede decir que R es actualmente el estándar estadístico por excelencia.

Además de aplicar el Modelo de Regresión Lineal Simple, hemos intentado mejorar los resultados con **Modelos Aditivos** (AM) [192]. Éstos son ampliamente utilizados como una extensión de los modelos lineales tradicionales. Éstos fueron aplicados a través de un paquete adicional [193]. Una de las principales características de los Modelos Aditivos es que suman los efectos de cada predictor para estimar la respuesta. Podrían definirse como un modelo lineal con un predictor lineal definido a través de una suma de funciones suaves de las covariables y son expresados de la siguiente forma:

$$\mu = x\beta + f_1(U) + f_2(V) + f_3(W, Z) + \dots$$

Siendo:

X= matriz del diseño correspondiente a las covariables que definen los componentes del modelo.

β = vector de los coeficientes de regresión.

U, V, W...= covariables.

$f_j(.)$ = función de las covariables.

Tienen como ventaja que son modelos muy flexibles y permiten establecer relaciones no lineales entre la variable respuesta y las predictoras, y como desventaja que solo son útiles para el estudio de funciones suaves.

Para la determinación del sexo hemos usado un **Modelo Lineal Generalizado (GLM)**, el cual es una extensión del modelo lineal clásico. En este modelo se relaciona la distribución aleatoria de la variable dependiente con la parte sistemática (no aleatoria o predictor lineal) a través de una función de enlace. En nuestro caso hemos utilizado la siguiente fórmula para el cálculo de la probabilidad de tener sexo femenino a partir de diferentes medidas óseas:

$$P(\text{sexomujer}) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2)}$$

En todo caso, hemos tratado de juzgar la “bondad” de cualquier modelo como predictor y para ello no sería correcto utilizar los mismos datos para juzgar la idoneidad del método como predictor y estimador. Esto se denomina *Error Aparente de Predicción*, ya que si se utilizan los mismos datos para predecir y estimar, puede provocar que el método que se esté usando deduzca unos datos mucho mejores de la realidad. Es decir, los datos que se usan para desarrollar la fórmula no pueden usarse para comprobar la bondad del método, para comprobar cuánto se aleja lo observado de lo esperado.

Lo ideal sería disponer de otra colección de datos independientes de la muestra para poder realizar la validación. Como esto es poco viable podemos obtener la información de nuestra población y emplear una parte para estimar y la parte restante para validar.

Para evitar este exceso de optimismo hemos dividido la muestra en dos partes, una llamada *muestra de entrenamiento* empleada para predecir; y otra denominada *muestra de validación* usada para juzgar el modelo. Los datos obtenidos se pueden separar 80/20 o de múltiples maneras. Para ello se realiza un *Estudio de Monte Carlo* en el que se sortea de toda la muestra que tenemos, cual es el 80% que sirve para estimar, y probar con el 20% restante como funcionaría la predicción como si estos datos fueran nuevos con respecto al 80%. Esto lo repetimos un número de veces (1000, 2000...) para evaluar qué modelo es el mejor.

La validación cruzada que hemos presentado sería un caso particular de lo anterior. Solo que, en este caso, se quita un solo dato y estimamos con todo el resto para predecir ese dato que hemos quitado primero. Así ese dato funciona como nuevo pudiendo observar la magnitud del error. La limitación de la validación cruzada es que si tenemos 100 datos, solo podría hacerse 100 veces, pero a pesar de esta limitación es muy usado en estadística para solventar el error aparente, ya que si usamos los mismos datos para predecir y para estimar, el error de predicción que saldrá siempre será más pequeño, dando una falsa euforia de que el método usado es mejor de lo que es, como hemos comentado.

Como esto no siempre es posible, la manera de solventarlo es haciendo un estudio de Monte Carlo, en el que las combinaciones de las particiones de las muestras predictiva y estimativa son altísimas. Así, es posible juzgar de forma imparcial, cual de los métodos (lineal, aditivo...) es mejor, ya que la muestra que utilizamos nunca ha participado en la estimación. El peligro que puede presentarse es que si usamos modelos de regresión complejos, como los aditivos, éstos pueden llegar a producir el conocido como “over fitting”, lo cual sería estimar más de lo necesario.

El modelo Aditivo permite asociaciones más complejas entre la variable X e Y, pero esa complejidad en la relación puede excederse. El método aditivo estudia la relación entre dos variables estableciendo una curva suave. Puede darse que los datos que tenemos para estimar produzcan un error del ajuste del modelo y que él no pueda autocorregirse, de ahí que debamos compararlo con los datos que no hayan participado en el proceso. Esto no podría ocurrir con el modelo lineal debido a su sencillez y a las relaciones que suceden entre las variables al aplicarlo. Este método es preciso cuando existe un dato muy influyente.

La existencia de software estándar en R, tales como el paquete `mgcv`, hace que sea más fácil para adaptarse a los modelos de este tipo en la práctica, así como el hecho de facilitar la validación anterior.





RESULTADOS



A continuación se presentan los resultados obtenidos en tres bloques,

1. UTILIDAD DEL PRIMER Y SEGUNDO METATARSIANOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA (METEG) :

La edad media de los hombres (n = 110) fue 45,21 y el de las mujeres (n=118) fue de 51,14 años.

TABLA10. Medidas descriptivas para cada grupo (METEG).

	MUJERES				HOMBRES			
	n=118				n=110			
	Mínima	Máxima	Media	S.D.	Mínima	Máxima	Media	S.D.
ESTATURA	1390	1723	1581	67.46	1501	1890	1707	81.31
M1	52	88	67.79	6.43	54	82	69.53	5.07
M2	53	88	71.39	6.31	59	83	72.26	4.21

(S) estatura, (M1) longitud máxima del primer metatarsiano, (M2) longitud máxima del segundo metatarsiano (S.D.) desviación estándar.

Podemos decir que los coeficientes de correlación de las fórmulas de regresión lineal (LM) que permiten estimar la estatura a partir de dimensiones de los metatarsianos fueron positivos y estadísticamente significativos y con mejores resultados en el caso de los hombres, donde los coeficientes superaron valores de 0,7. El menor valor lo recogimos en el caso de la muestra etiquetada como sexo desconocido.

En las Tablas 11-13 se pueden observar las fórmulas desarrolladas para estimar la estatura a partir de dimensiones de los metatarsianos.

La correlación más alta se obtuvo con la dimensión M1 (longitud máxima del primer metatarsiano) en el caso de los hombres, cuya ecuación de regresión correspondiente es: $S=819,88+12,79M1$, $R=0,783$ (Tabla 11).

TABLA 11. Fórmulas de regresión para hombres, en mm. (METEG)

FÓRMULA	R	AdjR ²	SE
S=819,88+12,79M1	0.783	0.613	51.02
S=687,69+14,20M2	0.705	0.498	59.78

(S) estatura, (M1) longitud máxima del primer metatarsiano, (M2) longitud máxima del segundo metatarsiano, R: coeficiente de correlación, Adj.R²: coeficiente de determinación ajustado, (SE) error estándar.

TABLA 12. Fórmulas de regresión para mujeres, en mm. (METEG)

FÓRMULA	R	AdjR ²	SE
S=1062,852+7,606M1	0.731	0.534	45.43
S=1051,211+7,507M2	0.711	0.505	46.66

(S) estatura, (M1) longitud máxima del primer metatarsiano, (M2) longitud máxima del segundo metatarsiano, R: coeficiente de correlación, Adj.R²: coeficiente de determinación ajustado, (SE) error estándar.

TABLA 13. Fórmulas de regresión para sexo indeterminado, en mm. (METEG)

FÓRMULA	N	R	AdjR ²	SE
S=886.797+11.016M1	228	0.731	0.534	45.43
S=914.09+10.15M2	228	0.711	0.505	46.66

(S) estatura, (M1) longitud máxima del primer metatarsiano, (M2) longitud máxima del segundo metatarsiano, R: coeficiente de correlación, Adj.R²: coeficiente de determinación ajustado, (SE) error estándar.

Hemos probado otros modelos de regresión. El modelo aditivo [192] (AM) ha sido utilizado en diversas investigaciones en el campo de la Patología Forense, por ejemplo, para estimar la data de la muerte con grandes resultados. Es necesario emplear un soporte informático con el paquete estadístico necesario y en nuestro caso lo aplicamos para poder comparar ambos

métodos. En la Tabla 14 se puede observar una comparación entre este método y le clásico de regresión lineal.

TABLA 14. Comparación de los valores de R obtenidos con el Modelo lineal de regresión (LM) y el Modelo Aditivo (AM) cuando utilizamos la longitud máxima del primer y segundo metatarsiano para estimar la estatura. (METEG)

SEXO	LM-M1	AM-M1	LM-M2	AM-M2
Sexo Indeterminado	0.645	0.710	0.567	0.583
Mujeres	0.731	0.732	0.711	0.719
Hombres	0.783	0.817	0.705	0.705

LM-M1: valor de R empleando el modelo de regresión lineal utilizando la longitud máxima del primer metatarsiano, LM-M2: valor de R empleando el modelo lineal de regresión utilizando la longitud máxima del segundo metatarsiano, AM-M1: valor de R empleando el modelo aditivo utilizando la longitud máxima del primer metatarsiano, AM-M2: valor de R empleando el modelo aditivo utilizando la longitud máxima del segundo metatarsiano.

Podemos observar como en el caso del modelo aditivo se gana en precisión en el caso de usar M1 de huesos de hombres y sexo indeterminado.

2. UTILIDAD DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA PARA LA ESTIMACIÓN DE ESTATURA Y DETERMINACIÓN DEL SEXO (TCES) :

Como ya fue señalado, la muestra empleada fue de 90 varones (81,8%) (que después de descartar dos por estar fragmentados quedaron en 88) y 20 mujeres (18,2%) . La edad media fue de $46,06 \pm 12,07$ (hombres $46,20 \pm 12,28$ años , mujeres $45,37 \pm 11,29$ años).

En la Tabla 15 se pueden observar los datos descriptivos de las mediciones.

TABLA 15. Valores de todas las medidas, en mm. (TCES)

	Hombres (n= 88)				Mujeres (n=20)			
	Min	Max	Media	S.D.	Min	Max	Media	S.D.
S	1480.00	1950.00	1705.45	72.17	1500.00	1770.00	1619.00	62.06
M1	56.40	75.60	66.56	3.85	53.10	71.40	60.58	3.87
F1	53.70	72.30	62.54	3.73	51.00	68.70	57.77	3.93
M2	63.00	96.60	78.08	5.07	63.60	82.20	71.94	4.84
F2	59.10	93.60	74.60	4.95	60.90	79.20	69.31	4.85
W1	11.10	18.90	14.35	1.28	10.50	15.00	12.64	1.24

Estatura (S), longitud máxima del primer metatarsiano (M1), longitud fisiológica del primer metatarsiano (F1), la longitud máxima del segundo metatarsiano (M2), longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), la anchura del primer metatarsiano medido en la mitad de la diáfisis (W1), S.D.: desviación estándar.

Con estos datos hemos implementado fórmulas de regresión lineal para la estimación de la estatura en los tres supuestos, para hombres, mujeres y sexo indeterminado (Tabla 16).

TABLA 16: Ecuaciones de regresión para los individuos de sexo masculino en mm. (TCES)

Fórmula	N	R	AdjR ²	SE
S=916.490+12.62F1	88	0.6474	0.4192	55
S=930.866+11.638M1	88	0.6158	0.3793	56.86
S=942.247+10.231F2	88	0.6979	0.4871	51.69
S=957.658+9.577M2	88	0.6680	0.4463	53.71

Estatura (S), longitud máxima del primer metatarsiano (M1), longitud fisiológica del primer metatarsiano (F1), la longitud máxima del segundo metatarsiano (M2), longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), la anchura del primer metatarsiano medido en la mitad de la diáfisis (W1). SE: error estándar, R: coeficiente de correlación, Adj. R²: coeficiente de determinación.

Las ecuaciones, en el caso de los varones tienen un coeficiente de determinación mayor que 0,4, excepto cuando se usa la longitud máxima del primer metatarso, que muestra un coeficiente de 0,37 ($S = 930,866 + 11.638M1$). La ecuación con un mayor coeficiente de determinación ($AdjR^2 = 0,48$) y el error estándar más bajo ($SE = 51.6$) es la utilizada para los cálculos de la medición fisiológica en el segundo metatarsiano (F2), $S = 942,247 + 10,231 F2$. Para el grupo de mujeres (tabla 27), la fórmula para la estimación de la estatura utilizando la longitud máxima del primer metatarsiano ($S = 972.760 + 10.668M1$), tuvo el mayor coeficiente de determinación ($AdjR^2 = 0,41$) y el menor error estándar ($SE = 47.61$) (Tabla 17).

TABLA 17. Ecuación de regresión para los individuos de sexo femenino en mm. (TCES)

Fórmula	N	R	AdjR ²	S.E
S=1022.281+281F1	20	0.6285	0.3951	48.27
S=972.760+10.668M1	20	0.6414	0.4114	47.61
S=1081.387+7.757F2	20	0.5758	0.3316	50.74
S=1019.813+8.330M2	20	0.6246	0.3902	48.47

Estatura (S), longitud máxima del primer metatarsiano (M1), longitud fisiológica del primer metatarsiano (F1), la longitud máxima del segundo metatarsiano (M2), longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), la anchura del primer metatarsiano medido en la mitad de la diáfisis (W1). SE: error estándar, R: coeficiente de correlación, Adj. R²: coeficiente de determinación

En caso de que no se conozca el sexo se deberían utilizar las fórmulas contenidas en la Tabla 18. En ella se presentan los resultados habiendo calculado las ecuaciones sin tener en cuenta el sexo de toda la muestra. Todos los coeficientes de los valores de determinación obtenidos fueron superiores a los descritos en los casos anteriores. El mayor coeficiente de determinación (AdjR2 = 0,54) y el error estándar más bajo (SE = 52,75) se obtuvieron con la longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), con la ecuación $S = 895,4803 + 10.7848F2$.

TABLA 18. Ecuación de regresión para el sexo desconocido en mm. (TCES)

Fórmula	N	R	AdjR ²	S.E.
S=866.564+13.347F1	108	0.7147	0.5112	54.42
S=886.378+12.270M1	108	0.7081	0.5015	55.19
S=895.4803+10.7848F2	108	0.7353	0.5407	52.75
S=901.0572+10.2462M2	108	0.7278	0.5298	53.37

Estatura (S), longitud máxima del primer metatarsiano (M1), longitud fisiológica del primer metatarsiano (F1), la longitud máxima del segundo metatarsiano (M2), longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), la anchura del primer metatarsiano medido en la mitad de la diáfisis (W1). SE: error estándar, R: coeficiente de correlación, Adj. R²: coeficiente de determinación

En la Tabla 19 se muestra la aplicación de las fórmulas para la estimación de la estatura en tres casos diferentes, con longitudes fisiológicas del segundo metatarsiano de 70, 72 y 74 mm en el caso de los hombres y de 58, 60 y 62 mm de longitud máxima del primer metatarsiano en el caso de las mujeres. Se muestran las estimaciones derivadas de aplicar nuestras fórmulas y las de otros estudios .

TABLA 19. Comparación de la estimación de la estatura con ejemplos de ambos sexos aplicando fórmulas desarrolladas con diferentes poblaciones. (TCES)

Hombres		Mujeres						
		Longitud Fisiológica del segundo metatarsiano, F2 (mm)			Longitud Máxima del primer metatarsiano, M1 (mm)			
		70	72	74				
		S (mm)			S (mm)			
Fórmulas					Formulas			
Nuestro estudio	S=942.247+10.231F2	1658.41	1678.87	1699.34	S=972.760+10.668M1	1591.50	1612.84	1634.17
Byers et al. [162]	S=873+11.1(Met2)	1650	1672.2	1694.4	S=783+13.9(Met1)	1589.2	1617	1644.8
Bydmos [163]	S=840+9,6M2	1512	1531.2	1550.4	S=635.7+13.9M1	1459.9	1469.7	1515.5
Cordeiro et al. [138]	S=830.389+11.623F2.C	1643.99	1667.24	1690.49	S=869.005+12.002M1.C	1565.12	1589.12	1613.12

Longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), longitud del segundo metatarsiano medido con TC dental (Met2), longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2.C), longitud máxima del primer metatarsiano (M1), longitud del primer metatarso medido con TC dental (Met1), longitud máxima del primer metatarso (M1.C), Estatura(S). (162) (163) (138).

Podemos observar que los valores de las estaturas estimadas con las fórmulas de Bydmos [163] son muy diferentes a las del resto.

En este trabajo desarrollamos un método para la estimación del sexo aplicando el Modelo Lineal Generalizado (GLM) a partir de mediciones del primer metatarsiano. El valor obtenido (P (mujer)) indicará la probabilidad de una muestra de tener sexo femenino. Un resultado de $p > 0,5$ indica una mujer y $p < 0,5$ un hombre. Un resultado de $p = 0,5$ sugiere igual probabilidad de que el individuo es de sexo masculino como femenino. La ecuación para la determinación del sexo se basa en la longitud máxima (M1) y la anchura (W1) del primer metatarsiano, donde $W1 = x_1$; $(M1/W1) = x_2$; $\beta_0 = 55,4767$; $\beta_1 = -2,5796$ y $\beta_2 = -4,6898$, por lo tanto:

$$P(Mujer) = \frac{\exp(55,4767 - 2,5796x_1 - 4,6898x_2)}{1 + \exp(55,4767 - 2,5796x_1 - 4,6898x_2)}$$

3. UTILIDAD DE LA PRIMERA Y SEGUNDA VERTEBRA CERVICAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA (EVEC):

La muestra estaba formada por 203 individuos, de los cuales 78 eran varones y 125 mujeres. La muestra de hombres mostró una altura media de 1710,6 mm, con un valor máximo de 1950 mm y un mínimo de 1530 mm. Finalmente, la muestra de mujeres presentó una media de 1590,4 mm, con 1410 mm de valor mínimo y 1800 mm de máximo. En la Tabla 20 se pueden observar los datos descriptivos de la muestra.

TABLA 20. Estadística descriptiva en mm para cada grupo en mm. (EVEC)

	Hombre(n= 78)				Mujeres (n= 125) n=203			
	min	max	media	sd	min	max	media	sd
S	1530.00	1950.00	1710.60	8.67	1410.00	1800.00	1590.40	7,75
E	15.00	81.00	45.83	16.34	17.00	84.00	47.06	16,37
O	30.01	42.00	35.17	2.51	26.00	39.00	32.70	2.29
V	38.50	56.25	47.06	3.26	32.76	53.55	43.35	3.14
DO	9.50	14.00	11.57	0.93	9.00	12.75	10.67	0.82
I	54.06	72.85	63.22	4.08	48.03	72.01	58.22	3.39

Estatura(S), edad(E), altura de la odontoides(O), altura de la vertebra(V), diámetro mayor de la apófisis odontoides(DO), interforaminal(I).

Desarrollamos ecuaciones para estimar la estatura para tres supuestos, representados en tres tablas, dependiendo del sexo del individuo y en el caso de no conocer el sexo (Tablas 21-23). En las tablas se presentan las fórmulas de regresión lineal para la estimación de la estatura en tres grupos de dimensiones:

- Empleando dimensiones de la C₁: V e I.
- Usando dos dimensiones de la C₂, DO y O.
- Utilizando las cuatro dimensiones: V, I, DO, y O.

TABLA 21. Fórmulas de regresión para hombres en mm. (EVEC)

Fórmula	N	R	AdjR ²	SE
$S=95.12+0.63V+0.73I$	78	0.47	0.23	7.60
$S=101.83+1,16 O+2,48DO$	78	0.47	0.23	7.58
$S=72.47+0.92O+1.28DO+0.33V+0.56I$	78	0.54	0.30	7.21

Estatura(S) en cm; altura de la odontoides(O), altura de la vertebra(V), diámetro mayor de la apófisis odontoides(DO), interforaminal(I), en mm; R: coeficiente de correlación, AdjR²: coeficiente de determinación ajustado, SE: error estándar.

En el caso de varones (tabla 21), utilizando las cuatro medidas para la estimación de la estatura, se obtiene la fórmula $S=72.47+0.92O+1.28DO+0.33V+0.56I$. Ésta mostró el mayor coeficiente de correlación lineal ($R= 0.54$) y el menor error estándar ($SE = 7.21$). Todas las ecuaciones tenían un valor de R mayor que 0.4 .

TABLA 22. Fórmulas de regresión para mujeres en mm. (EVEC)

Fórmula	N	R	AdjR ²	SE
$S=97.05+0.71V+0.53I$	125	0.41	0.17	7.05
$S=103.41+1,14 O+1.73DO$	125	0.42	0.18	6.99
$S=75.62+0.85O+1.19DO+0.41V+0.43I$	125	0.48	0.24	6.73

Estatura(S) en cm; altura de la odontoides(O), altura de la vertebra(V), diámetro mayor de la apófisis odontoides(DO), interforaminal(I), en mm; R: coeficiente de correlación, AdjR²: coeficiente de determinación ajustado, SE: error estándar.

Para el grupo de mujeres (tabla 22), la ecuación con un coeficiente de correlación lineal más grande ($R = 0.48$) y un error estándar menor ($SE = 6.73$), sería la fórmula donde se emplean las cuatro medidas de ambas cervicales $S=75.62+0.85O+1.19DO+0.41V+0.43I$.

TABLA 23. Fórmulas de regresión para sexo desconocido en mm. (EVEC)

Fórmula	N	R	AdjR ²	SE
S=67.25+0.92V+0.92I	203	0.64	0.41	7.66
S=73.28+1,56 O+3.18DO	203	0.62	0.39	7.84
S=49.02+1.02O+1.58DO+0.49V+0.67I	203	0.70	0.50	7.10

Estatura(S) en cm; altura de la odontoides(O), altura de la vertebra(V), diámetro mayor de la apófisis odontoides(DO), interforaminal(I), en mm; R: coeficiente de correlación, AdjR²: coeficiente de determinación ajustado, SE: error estándar

Para el desarrollo de las ecuaciones cuando desconocemos el sexo (tabla 23) se ha utilizado toda la muestra.

Todos los coeficientes de determinación obtenidos muestran valores superiores a los descritos en los casos anteriores. El mayor coeficiente de determinación (AdjR² = 0.5) y el menor error estándar (SE = 7.1) se obtuvo con la combinación de las cuatro medidas y con la ecuación S=49.02+1.02O+1.58DO+0.49V+0.67I. Por otro lado, la estimación de la estatura utilizando el diámetro mayor de la odontoides (DO) y la altura de la odontoides (O) muestra el menor coeficiente de determinación (AdjR² = 0,39) y un error mayor (SE = 7.84), S=73.28+1,56 O+3.18DO.

En este estudio también hemos aplicado un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) en el caso de no conocer el sexo de la muestra, modelo estadístico ya empleado en el campo de la Medicina Legal [43,194]. En la Tabla 24 se comparan los valores de R obtenidos con el modelo de regresión lineal y el aditivo.

Este modelo, sigue la fórmula siguiente:

$$S = f(\vec{x}) + \varepsilon = a + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) + \varepsilon$$

TABLA 24. Comparativa de valores de R aplicando el Modelo de regresión lineal y el Modelo aditivo, en el caso de sexo desconocido. (EVEC)

MODELOS	V-I	O-DO	O-DO-V-I
Modelo de Regresión Lineal	0.647	0.626	0.707
Modelo Aditivo	0.666	0.642	0.722

Altura de la odontoides (O), altura de la vertebra (V), diámetro mayor de la apófisis odontoides (DO), interforaminal (I).

La precisión aumenta desde un valor de $R = 0,626$ con el modelo lineal a $R = 0,642$ con el modelo aditivo.

La precisión de la estimación obtenida con estos modelos ha sido validada con 10000 particiones aleatorias del conjunto de datos inicial (en cada partición de 153 de los datos se utilizó como un conjunto de entrenamiento, y los restantes 50 para la validación) y se calculó el error cuadrático medio. Los resultados en términos de errores cuadráticos medios de las 10.000 repeticiones utilizando la fórmula lineal en el caso de desconocer el sexo se muestran en la Tabla 25.

TABLA 25. Precisión en la estimación obtenida con los tres métodos. (EVEC).

	Mod C1	Mod C2	Mod C1+C2
MSE	60.74	62.96	52.75
SD	7.79	7.93	7.26

Mod C1: medidas tomadas de C1: altura de la vértebra (V) e interforaminal (I); Mod C2: Medidas tomadas en C2: altura de la odontoides (O) y diámetro mayor de la apófisis odontoides (DO); Mod C1+C2: medidas tomadas de ambas vértebras: Altura de la odontoides (O), altura de la vertebra (V), diámetro mayor de la apófisis odontoides (DO), interforaminal (I); MSE: Error cuadrático medio; SD: desviación estándar.



DISCUSIÓN



1. UTILIDAD DEL PRIMER Y SEGUNDO METATARSIANOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA (METEG):

Si bien es cierto que los valores de R que muestran las fórmulas desarrolladas no son grandes e inferiores a los conseguidos con huesos largos [151] podemos observar que son similares a los obtenidos con otras poblaciones; como pueden ser las que Bidmos publicó con población Sudafricana [163], Cordeiro et al. con población portuguesa [138] y Byers con estadounidense [162]. Byers reportó coeficientes de correlación que oscilaron entre 0,59 y 0,89 [162], mientras que Bidmos reportó valores ligeramente inferiores con coeficientes de correlación que oscilan entre 0,44 y 0,73 [163]. Unos valores similares a los nuestros, que oscilan entre 0,56 y 0,78, la obtuvo Cordeiro et al [138], con un rango entre 0,64 y 0,79. Las correlaciones encontradas aquí, así como la validación de la prueba, creemos que son suficientes para permitir su uso.

El hecho de que la estimación de la estatura a partir de M1 muestra el mayor valor de R puede considerarse como una ventaja dado que el primer metatarsiano tiende a ser mejor conservado que el segundo, por su tamaño y robustez.

Al estimar estaturas como ejemplo, utilizando diferentes fórmulas poblacionales se ve que para un varón con M1 de 69 mm., la estatura estimada con nuestra fórmula se estima en 1702,3 mm., con la de Cordeiro et al. [138] (Portugueses) 1714.7 mm., con la de Byers et al. [162] (Estadounidenses) 1813.8 mm. y con la de Bidmos [163] (indígenas Surafricanos) 1589 mm. En el caso de una mujer con M2 de 71 mm. utilizando nuestra fórmula se estima una estatura de 1583,7 mm, con la de Byers 1608,4 mm. y 1422,2 mm. con la de Bidmos. Las fórmulas propuestas por Cordeiro et al. y Byers et al. arrojan valores más altos que nuestras fórmulas (en el ejemplo hemos utilizado los valores medios de M1 y M2 de la muestra), mientras que los resultados obtenidos con las de Bidmos dan valores más bajos. Esta situación se explica por el hecho de que debido a que la población de referencia es diferente, también lo es la fórmula de regresión.

En la validación de nuestro modelo, calculamos las estaturas de nuestra muestra empleando nuestras fórmulas y las comparamos con las publicadas en el estudio portugués llevado a cabo por Cordeiro et al. Los resultados los comparamos con la estatura real calculando el error cuadrático medio (Tabla 26). Esta validación se compara con las fórmulas propuestas

por Cordeiro et al. debido a la proximidad geográfica y temporal de su población de referencia con la nuestra.

TABLA 26. Error cuadrático medio calculado con nuestras fórmulas frente a las portuguesas. (METEG).

	ECM	VALIDACIÓN CRUZADA
Fórmula M1 Cordeiro et al.	10185.63	
Nuestra fórmula M1	5692.857	5822.006
Fórmula M2 Cordeiro et al.	6692.185	
Nuestra fórmula M2	6427.904	6575.789

ECM: error cuadrático medio, M1: longitud máxima del primer metatarsiano, M2: longitud máxima segundo metatarsiano.

Como se puede deducir a partir de los datos mostrados, las fórmulas propuestas en este trabajo para estimar la altura de las mediciones obtenidas a partir de M1 y M2 son más precisas que las propuestas por Cordeiro et al. [138]. Probablemente debidos a que sus fórmulas se obtuvieron de una población portuguesa, más bajos.

Los valores de correlación que hemos obtenido son aproximadamente de la misma magnitud que las obtenidas con las fórmulas para estimar la estatura a partir de mediciones antropométricas de tejidos blandos [195], a partir de huesos largos fragmentados [148,172], o a partir de las dimensiones del pie [139,140,196,]. Sabemos de las dimensiones de los pies y de las manos se pueden utilizar en el trabajo forense para proporcionar una estimación satisfactoria de la estatura de un individuo. Las obtenidas a partir de la longitud del pie muestran valores similares de R a las propuestas en el presente estudio, pero para otras poblaciones [136], y con ciertas limitaciones.

A pesar de que los modelos aditivos (AM) podrían ofrecer una mayor flexibilidad y precisión que el modelo de regresión lineal (LM), recomendamos este último debido a su amplio uso, la facilidad de comprensión y la velocidad de cálculo.

2. UTILIDAD DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTERIZADA PARA LA ESTIMACIÓN DE ESTATURA Y DETERMINACIÓN DEL SEXO (TCES):

Las ecuaciones de regresión que desarrollamos permiten una determinación de la estatura en una población portuguesa basada en las mediciones realizadas por el escáner dental. Aunque estas fórmulas difieren tanto de las publicadas inicialmente para la población portuguesa, así como de las actuales [138,190], son útiles y deseables debido a que son estadísticamente significativas con altos coeficientes de determinación. Estas diferencias se reflejan en la representación gráfica de las fórmulas (Figura 32), ya que el uso de ejemplos más o menos representativos no es tan bueno como de la utilización de todos los datos y la precisión dada por los valores R respectivos.

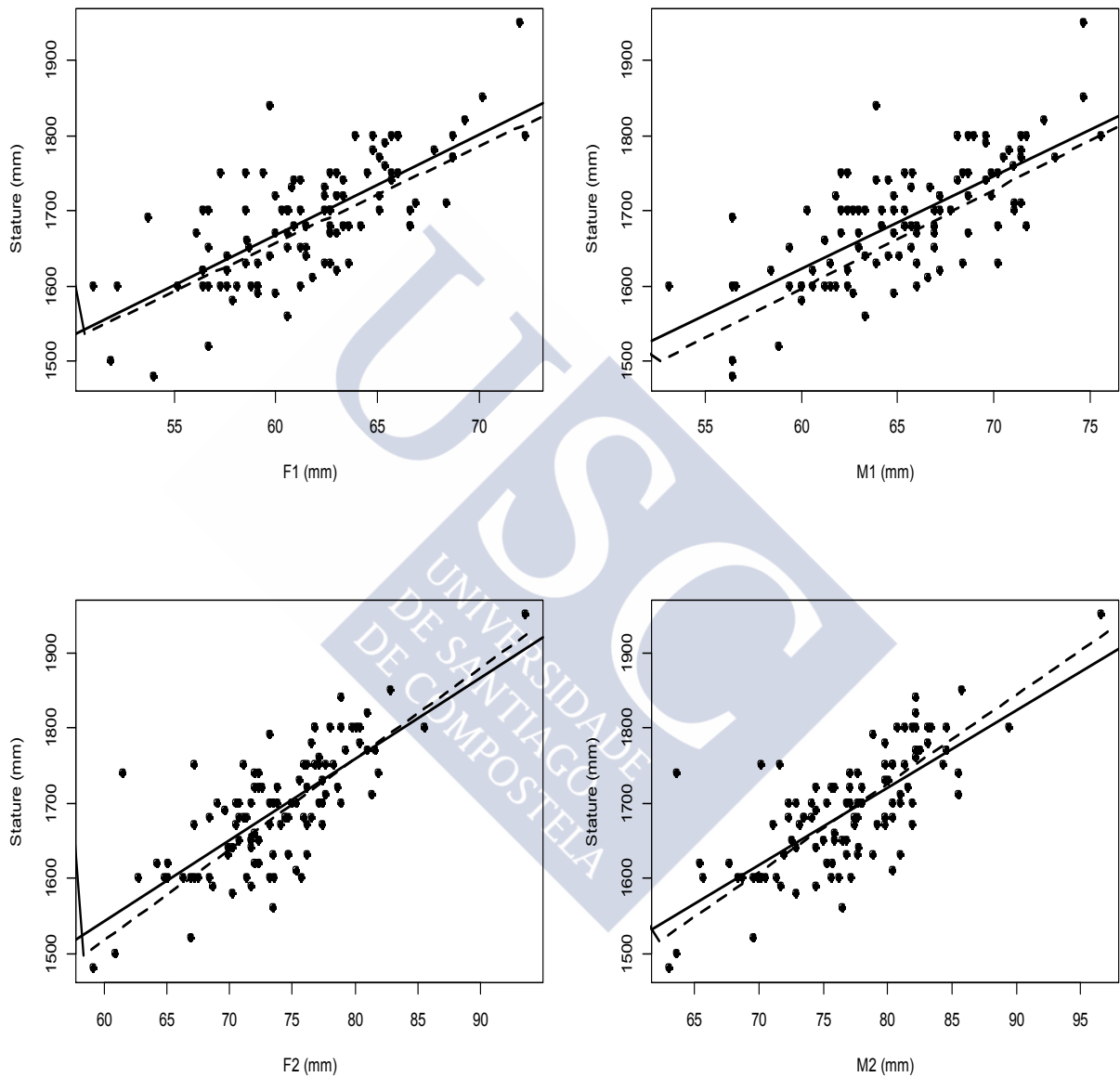
La fórmula más fiable, con un valor de R más elevado en el estudio actual, corresponde a la que utiliza el valor de la longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2) para sus estimas. Los valores de R son similares a los de otras publicaciones con otras poblaciones de referencia, pero a pesar de que son más bajos que los que muestran las fórmulas de regresión para estimar la estatura de los huesos largos [151], no podemos dejar de usarlos en el caso de que los únicos restos que aparezcan en la escena sean metatarsianos. Aunque los estudios han demostrado que la estimación más precisa de la estatura se proporciona mediante la medición de los restos intactos de huesos más largos, el hecho de que éstos aparecen a menudo fragmentados o ausentes, requiere soluciones alternativas. De ahí la importancia de tener fórmulas de regresión aplicables en este caso en población de referencia.

En la Tabla 29 (ver en el apartado de resultados), mostrábamos la aplicación de las fórmulas para la estimación de la estatura a tres casos diferentes, con longitudes fisiológicas del segundo metatarsiano en el caso de los hombres y con longitudes máximas del primer metatarsiano en el caso de las mujeres; y se obtienen las estimaciones derivadas de aplicar nuestras fórmulas y las de otros estudios. En el caso del estudio de Bydmos [163] los resultados obtenidos con sus fórmulas eran muy diferentes al resto, pero cabe resaltar que en esta investigación las medidas fueron tomadas desde el vértice de la cabeza hasta el punto medio de la superficie articular del metatarsiano y no se corresponden con las longitudes máximas fisiológicos utilizados en los estudios de Cordeiro et al. [138].

En la Figura 32, que presentamos a continuación, las regresiones lineales obtenidas con las mediciones realizadas con TC dental están representados por una línea continua, y los obtenidos en estudios previos [138,190] se representan con una línea discontinua. En todos los gráficos, las dos líneas, aunque próximas, muestran diferencias, la más significativa sería la estatura estimada a partir de M1. Tanto en este caso, como en la F1, al usar las ecuaciones obtenidas previamente las estaturas están subestimadas cuando las comparamos con las fórmulas obtenidas con las mediciones hechas con el TC dental. En los dos gráficos restantes M2 y F2, se puede ver cómo las líneas casi coinciden a lo largo de su camino y se cruzan para valores medios, con excepción de los valores extremos, que son más divergentes. Para esta comparación se utilizaron todos los casos, 108 pares de huesos.



Figura 31: Las gráficas de las regresiones lineales obtenidas por tomografía computarizada dental y las medidas directas.



Longitud fisiológica del primer metatarso en milímetros (F1), la longitud máxima del primer metatarsiano (M1), longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), longitud máxima del segundo metatarsiano (M2). La línea continua muestra la ecuación obtenida a partir de las mediciones realizadas con tomografía computarizada, la línea discontinua muestra las ecuaciones obtenidas con las mediciones directas realizadas en hueso por Cordeiro et al. [138].

La alta precisión de la TC permite una clara distinción entre las estructuras articuladas en los individuos vivos. No es de extrañar la alta reproducibilidad de las mediciones radiográficas obtenidos en este trabajo, así como en otros trabajos similares publicados, teniendo en cuenta que hace uso de programas específicamente diseñados para la medición de la proyección de imagen computarizada. Tales métodos están altamente estandarizados.

Por último, cabe resaltar que en este estudio se obtuvieron con éxito varias ecuaciones que no sólo estiman la estatura en vida, sino también, y por primera vez, puede determinar el sexo: los dos parámetros básicos en la construcción de un perfil biológico individual.

Ha sido posible relacionar el sexo con la longitud máxima del primer metatarsiano (M1) y la anchura de la diáfisis del primer metatarsiano, W1, una nueva dimensión. Con el fin de obtener una nueva fórmula para la determinación del sexo aplicamos un modelo lineal general generalizado que aporta la probabilidad de que el hueso sea de mujer.

3. UTILIDAD DE LA PRIMERA Y SEGUNDA VERTEBRA CERVICAL EN LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA EN LA POBLACIÓN GALLEGA (EVEC)

En este estudio se obtuvieron con éxito diversas fórmulas que permitieron la estimación de la estatura en vida utilizando medidas tomadas en la primera y segunda vértebra cervical. Debido a su pequeño tamaño y a su estructura, puede ser más fácil su recuperación íntegra que la de huesos largos, como ya fue puesto de manifiesto en los anteriores trabajos. Los mejores resultados se obtienen, empleando las cuatro dimensiones, de la primera y segunda vértebra cervical (altura de la vértebra, interforaminal y diámetro mayor y altura de la apófisis odontoides respectivamente). En las fórmulas para determinar la estatura en el caso de mujeres el coeficiente de determinación es ligeramente mayor usando las medidas de C2 (altura y diámetro mayor de odontoides) que las de C1. Sin embargo en el caso de los hombres ambos coeficientes de determinación son idénticos.

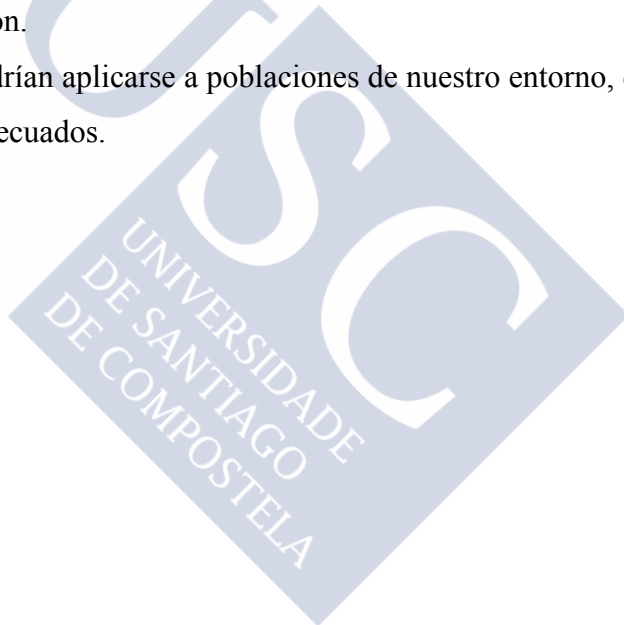
Cuando realizamos una comparación de los modelos lineales y los aditivos, vemos que el valor de R mejora ligeramente con los aditivos. Pero a pesar de que los modelos aditivos podrían ofrecer una mayor flexibilidad y precisión que el modelo de regresión lineal,

elegimos este último modelo debido a su amplio uso, la facilidad de comprensión y velocidad de cálculo.

Al igual que se ha manifestado con los metatarsianos, se debe estudiar la posibilidad de estudiar otros huesos de menor tamaño y mayor robustez, como pueden ser las vértebras. Este trabajo presenta por primera vez un estudio con vértebras cervicales de una muestra de población gallega, y es el primer trabajo publicado con C1.

Los valores de R que se han obtenido son igual de válidos, o en determinadas situaciones incluso mejores, que los publicados en previos estudios llevados a cabo con hueso pequeños como los metatarsianos [151]. También, cabe destacar, como hemos citado anteriormente, las ventajas de usar imágenes radiológicas para la medición de los huesos frente a la medición directa de estos, pudiendo así descartar los tejidos blandos que rodean al hueso y poder ser más exactos en la medición.

Las fórmulas también podrían aplicarse a poblaciones de nuestro entorno, de no disponerse de estudios poblacionales adecuados.







CONCLUSIONES



- Debido a las diferencias de estatura existentes por raza, distribución geográfica, factores hereditarios, desarrollo socioeconómico, régimen alimentario y tipo de trabajo que se ejerce, resulta de gran importancia utilizar en la estimación fórmulas desarrolladas con una muestra de la población de referencia.
- El uso de técnicas radiográficas para las mediciones de huesos permite el uso de voluntarios como muestra poblacional. Presenta además una doble ventaja, la fiabilidad de los datos de estatura en una población actual y la facilidad de alcanzar suficiente número de individuos con características homogéneas adecuados en poco tiempo.
- A pesar de que se haya demostrado que la precisión en la estimación de la estatura empleando medidas de huesos largos son mejores que si utilizamos huesos de menor tamaño, es necesario disponer de métodos que permitan esta estima, ya que existen situaciones en las que los únicos huesos que aparecen al hallar un cadáver son éstos debido a su pequeño tamaño, robustez, y que en la mayoría de los casos están protegidos por ropas o calzado.
- El uso de tomografía computarizada para la medición de los huesos ha demostrado ser de gran utilidad para la estimación de estatura y la determinación del sexo. Esta técnica es más exacta que la medición directa del hueso, ya que desestima la presencia de tejidos blandos u otros restos de tejido que rodean al hueso y facilita la medición y reproducibilidad.
- Aunque el Modelo Aditivo podría ofrecer una mayor flexibilidad y precisión en la implementación de fórmulas para estimar la estatura, se recomienda el modelo de regresión lineal. Esta elección es debida al uso habitual en nuestro campo, la facilidad de comprensión y velocidad de cálculo.
- Es posible estimar la estatura en vida si disponemos del primer o segundo metatarsiano. La fórmula que presenta mayor precisión para población gallega es $S=819,88+12,79M1$, en el caso de los hombres.

- Es posible estimar la estatura en vida si disponemos de la primera o segunda vértebra cervical. La fórmula que presenta una mayor precisión a priori para población gallega es $S=49.02+1.02O+1.58DO+0.49V+0.67I$, en el caso de no conocer el sexo.
- Es posible determinar el sexo si disponemos del primer metatarsiano. La fórmula que calcula la probabilidad de ser mujer es:

$$P(Mujer) = \frac{\exp(55,4767 - 2,5796x_1 - 4,6898x_2)}{1 + \exp(55,4767 - 2,5796x_1 - 4,6898x_2)}$$

- Si bien la muestra poblacional con la que se han obtenido las diferentes fórmulas es gallega, serían también útiles para cualquier población española, habida cuenta de la cercanía y la inexistencia de otras más adecuadas.





BIBLIOGRAFÍA



1. Smith O. The history and development of forensic medicine. Brit Med J. 1951;1: 599-607.
2. Resolución de 25/4/1996 de la Secretaría de Estado de Universidades. Ministerio de Educación y Ciencia. <http://www.msssi.gob.es/profesionales/formación/docs/Medicina Legal y Forense.pdf>.
3. Stewar T.D. Essentials of forensic anthropology especially as developed in the United States. Charles C. Tomas. 1979.
4. Iscan M.Y. Concepts in Teaching Forensic Anthropology. Medical Anthropology Newsletter. 1981;13(1): 10-12.
5. Snow C.C., Gatlif B.P., Mc Williams K.R. Reconstruction of Facial Feature from the Skull: An evaluation of its Usefulness in Forensic Anthropology. Am. J. Phys. Anthropol. 1970;33: 221-28.
6. Krogman W.N. A guide to the identification of human skeletal material. FBI Law Enforcement Bulletin. 1939;8: 3-31.
7. Soiza A. Historia de la Medicina Legal y los peritajes médico-forenses en el Uruguay (1724-1883). En: Puppo H., Murguía D. and Puppo D. Ed. Librería médica Editorial Montevideo; 1985. P. 1-46.
8. Ferllini R.F. La importancia de la antropología forense. Medicina Legal de Costa Rica. 1990;7: 37-42.
9. Ubelaker D.H. Positive identification of American indian skeletal remains from radiograph comparison. J. Forensic Sci. 1990;35: 466-472.
10. Dwight T. The identification of the human skeleton. A medico legal study. Boston M.A; 1878.

11. Todd T.W. Age changes in the pubic bone: The white male pubis. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1920;3: 427-470.
12. Todd T.W., D'Errico J. The clavicular epiphyses. *Am. J. Anant.* 1928;41: 25-50.
13. Todd T.W., Lyon D.W. Endocranial suture closure: It's progress and age relationship. Part I: Adult males of white stock. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1924;7: 325-384.
14. Todd T.W., Lyon D.W. Cranial suture closure: It's progress and age relationship. Part II: Ectocranial closure of adult males of white stock. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1925a;8: 23-44.
15. Todd T.W., Lyon D.W. Cranial suture closure: It's progress and age relationship. Part III: Endocranial closure in adult males of Negro stock. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1925b;8: 47-71.
16. Todd T.W., Lyon D.W. Cranial suture closure: It's progress and age relationship. Part IV: Ectocranial closure in adult males of Negro stock. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1925c;8: 149-168.
17. Reverte J.M. Antropología forense. Ministerio de Justicia, Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones. Madrid; 1991.
18. Olóriz F. Recolección de Cráneos para Estudios Antropológicos. Granada. Librería de Paulino Ventura Sabatel; 1884.
19. Olóriz F. Distribución geográfica del índice cefálico en España deducida del examen de 8.368 varones adultos. Memoria presentada al Congreso Geográfico Hispano-Portugués-Americano en sesión de 19 de octubre de 1892. Madrid. Imp. del Memorial de Ingenieros; 1892.
20. Olóriz F. La talla humana en España: discursos leídos en la Real Academia de Medicina el día 24 de mayo de 1896 para la recepción pública del académico electo. Madrid. Imp. y Libr. de Nicolás Moya; 1896.

21. Olóriz F. Dactiloscopia. Madrid. Imprenta de Eduardo Arias; 1908.
22. Olóriz F. Guía para extender la tarjeta de identidad según las lecciones dadas en la Escuela de Policía de Madrid. Madrid. Ed. Imprenta de los Hijos de M.G.Hernández; 1909.
23. Olóriz F. Experimentos de identificación monodactilar en la Universidad de Madrid. Madrid. Hijos de Reus; 1910.
24. Olóriz F. Manuel Pour L'Identification des Délinquants de Madrid. Bruxelles. Ed. Ferdinand Larcier; 1911.
25. Gómez O. Memorias de la Real Sociedad Española de Medicina Natural, tomo VII, memoria 5;1913.p. 343-454.
26. Aranzadi T. Unidades y constantes de la crania hispánica. Madrid. Ed. Arias; 1911.
27. Aranzadi T. Lecciones de Antropología. 4 vols. Madrid. Ed. Romo y Fusset. (en colab. con Luis Hoyos Sáinz); 1899-1900.
28. Mazzarello P. Cesare Lombroso: an anthropologist between evolution and degeneration. Functional Neurology. 2011;26(2): 97-101.
29. Salillas R. La vida penal en España. Ed. Analecta Editorial; 1999.
30. Lecha L. Manual de Medicina Legal. Madrid. Ed. Imprenta y Librería de Nicolás Moya; 1912.
31. Ventura F., Zacheo J., To L., Shovel A. Computerised anthropomorphometric analysis of images: case report. Forensic Sci. Int. 2004;146 Suppl: S211-3.

32. Vibert Ch. Manual de Medicina Legal y Toxicología Clínica y Médico-Legal. Traducción castellana enriquecida con notas y referencias a la legislación española vigente por Manuel Saforcada. Barcelona. Ed. Hijos de J. Espasa; 1916.
33. Lecha A. Tratado de autopsias y embalsamamientos: el diagnóstico Médico Legal en el cadáver. Barcelona. Ed. Manuel Marín Editor; 1917.
34. Piga y Pascual A. Medicina Legal de Urgencia. La Autopsia Judicial. Madrid. Ed. Mercurio; 1928.
35. Piga y Pascual A. Manual Teórico-práctico de Medicina Legal. Madrid. Instituto Reus; 1935.
36. Aznar B. Contribución a la identificación de restos óseos fetales. Madrid. Ed. Gráficas Gutenberg; 1931.
37. Aznar B., Maestre T. Identificación de Restos Cadavéricos Oseos. Investigación. 1945; 211: 79-81.
38. Royo-Villanova R. Lecciones de Medicina Legal. Madrid. Ed. Marbán; 1952.
39. López L., Gisbert J.A. Tratado de Medicina Legal. Valencia. Ed. Saber; 1967.
40. Gisbert J.A. Medicina Legal y Toxicología. Valencia. Fundación García Muñoz. 1985; 675-82.
41. Alemán I., Botella M., Carrillo M.F., Crespo S., Dorado E., Fernández F.J., Magaña C., Polo M., Prieto J.L., Robledo M., Sánchez J.A., Serrulla F., Verano V., Viciano J. Recomendaciones en Antropología Forense. Asociación Española de Antropología y Odontología Forense. Ed. Valpapeis SL; 2013.

42. Lagunas Z. Manual de osteología antropológica. Ed. Instituto Nacional de Antropología e Historia; 2000.
43. Muñoz J.I., Febrero-Bande M., Cadarso-Suárez C. Flexible regression models for estimating postmortem interval (PMI) in forensic medicine. Stat Med. 2008;27 (24): 5026-5038.
44. Aznar B. Investigación de restos cadavéricos oseos. La fecha de la muerte I. Investigación; 1945;210: 48-50.
45. Aznar B. Investigación de restos cadavéricos óseos. La fecha de la muerte II. Investigación. 1945;211: 79-81.
46. Hunter J., Roberts Ch., Martin A. Dating the time of death.. London. Ed: Studies in crime: An introduction to forensic archaeology. 1996;139-155.
47. Müller H.J. Bearings of the 'Drosophila' work on systematics. Huxley. 1940;185-268.
48. Sibon A. Intoxicación por monóxido de carbono. Cuad.Med.Forense. 2007;13(47).
49. Blackwell W. Handbook of Forensic Medicine. Ed. Burkhard Madea; 2014.
50. Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations. En: Jason H. Byrd, James L. Castner; 2010.
51. Catts E.P., Haskell N.H. Entomology and death: a procedural guide. Joyce's Clemson. South Carolina; 1990.
52. Ikeya M., Miki T. Electrón Spin Resonance Dating of Animal and Human Bones. Science. 1980; 207: 979-989.

53. Knight B., Lauder I. Methods of Dating Skeletal Remains. Human Biology. 1969;41: 322-341.
54. Müller R.A. Radioisotope Dating with a cyclotron. Science. 1977;196: 489-494.
55. Krogman W.M., Iscan M.Y. The human skeleton in forensic medicine. Charles C. Thomas. Springfield; 1986.
56. Hanihara K. Mongoloid dental complex in the permanent dentition. Ed: Proceedings of the VIIIth International Congress of Anthropological and Ethnological Sciences. Vol1. Anthropology. Science Council Japan. Tokyo. 1968;298-300.
57. Lasker G.W., Lee M.M.C. Racial traits in the human teeth. J. Forensic Sci. 1957;2: 401-419.
58. Zoubov A.A. Metodica de las investigaciones antropológicas. Nauka, Moscú; 1968.
59. Zoubov A.A., Jaldeeva N. I. La odontología en la antropología contemporánea. Nauka, Moscú; 1989.
60. Krenzer U. Compendio de métodos antropológicos forense para la reconstrucción del perfil osteo-biológico. Ed. Cafca. Centro de análisis forenses y ciencias aplicadas; 2006.
61. Krogman W. M. The human skeleton in forensic medicine. Postgrad. Med. 1955;17A: 48-72.
62. Woo T. L., Morant G. M. A biometric study of the "flat-ness" of the facial skeleton in man. Biometrika. London. 1934;26(1-2): 196-250.
63. Debetz G. F. Sobre las vías de poblamiento de la franja septentrional de la llanura rusa y el pribáltico oriental. Sovietskaya Etnografía, Moscú. 1961;6: 51-69.

64. Byers S.N. Introduction to forensic anthropology. Ed. Allyn and Bacon; 2002.
65. Franco P.G. Identificación de cadáveres en la práctica forense. Instituto nacional de medicina legal y ciencias forenses. 2009;125-145.
66. Saukko P., Knight B. Knight's Forensic pathology. Ed. Hodder Arnold; 2004.
67. Rich J., Dean D.E., Powers R.H. Forensic medicine of the lower extremity: Human identification and trauma analysis of the thigh leg and foot. 1ª Ed. Humana Press. 2005;69-98: 113-237.
68. Loth S.R., Heimeberg M. Sexually dimorphic morphology in the immature human mandible and its application to fossil hominids. Am. J. Phys. Anthropol. 1996; (Suppl), 22, 152.
69. Houghton, P. The relationship of the pre-auricular groove of the ilium to pregnancy. Am. J. Phys. Anthropol. 1974;41, 381.
70. Dunlap S.S. A Study of the Preauricular Sulcus in a Cadaver Population. Ph.D. dissertation, Michigan State University. East Lansing; 1981.
71. Danborno B., Elukpo A. Sexual dimorphism in hand and foot length, indices, stature-ratio and relationship to height in Nigerians. Internet J. Forensic Sci. 2008;3 (1).
72. Robling A.G., Ubelaker D.H. Sex estimation from the metatarsals. J. Forensic Sci. 1997; 42(6):1062-9.
73. Mountrakis C., Eliopoulos C., Koiliakos C.G., Manolis S.K. Sex determination using metatarsal osteometrics from the Athens collection. Forensic Sci Int. 2010;15,200(1-3):178.e1-7.

74. Saini V., Srivastava R., Rai R.K, Shamal S.N, Singh T.B, Tripathi S.K. Sex estimation from the mastoid process among North Indians. *J. Forensic Sci.* 2012;57(2): 434-9.
75. Kranioti E.F., Nathena D., Michalodimitrakis M. Sex estimation of the Cretan humerus: a digital radiometric study. *Int. J. Legal Med.* 2011;125(5): 659-67.
76. Buikstra J.E., Ubelaker D.H. Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains Arkansas Archaeological Survey. 1994; Research Series No 44: 106-123.
77. Holland T.D. Sex determination of fragmentary crania by analysis of the cranial base. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1986;70(2): 203-208.
78. Holland T.D. Race determination of fragmentary crania by analysis of the cranial base. *J. Forensic Sci.* 1986;31: 719-25.
79. Holland T.D. Sex determination of fragmentary crania by analysis of the Cranial Base. *Am. J. Phys Anthropol.* 1986;70(2): 203-08.
80. Hoyme St.L.E., Iscan. En: Iscan Y. and Kenneth Y. Determination of sex and race: accuracy and assumptions. Ed: Reconstruction of Life from the skeleton. Alan R. Liss, Inc, New York. 1989;53-93.
81. Novotny V., Iscan M.Y, Loth S.R. En: MY Iscan M.Y. y Helmer P. Morphologic and osteometric assessment of age, sex, and race from the skull. Ed. Forensic analysis of the skull. Cranifacial analysis, reconstruction, and identification. Wiley-Liss, New York. 1993;70-88.
82. Gama I., Navega D., Cunha E. Sex estimation using the second cervical vertebra: a morphometric analysis in a documented Portuguese skeletal sample. *Int. J. Legal Med.* 2015;129(2): 365-72.

83. Navega D., Vicente R., Vieira D.N., Ross A.H., Cunha E. Sex estimation from the tarsal bones in a Portuguese sample: a machine learning approach. *Int. J. Legal Med.* 2015;129(3): 651-9.
84. DiMichele D.L., Spradley M.K. Sex estimation in a modern American osteological sample using a discriminant function analysis from the calcaneus. *Forensic Sci. Int.* 2012;221(1-3): 152.e1-5.
85. Ubelaker D.H. *Human Skeletal Remains. Excavation, Analysis, Interpretation.* Taraxacum-Washington, Smiths. Inst. Manuals on Archaeology 2. 1989.
86. Tanner J.M. *El Hombre antes del Hombre. El Crecimiento físico desde la concepción hasta la madurez.* México. Fondo de Cultura Económica; 1986.
87. Smith B.H. Standards of Human Tooth Formation and Dental Age Assessment. In: *Advances in Dental Anthropology*, New York, Wiley-Liss, Inc. 1991;143-168.
88. Lovejoy C.O., Meindl R.S., Pryzbeck T.R., Mensforth R.P. Chronological Metamorphosis of the Auricular Surface of the Ilium. A New Method for the Determination of Adult Skeletal Age at Death. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1985;68(1): 15-28.
89. Schunke G.B. The anatomy and development of the sacro-iliac joint in man. Article first published online: 3 FEB 2005. DOI: 10.1002/ar.1090720306. Wiley-Liss, Inc.1938.
90. Meindl R.S., Lovejoy C.O., Mensforth R.P., Walker R.A. A revised Method of Age Determination Using the Os Pubis, with a review and Test of Accuracy of other Methods of Pubic Symphyseal Aging. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1985;68(1): 29-45.
91. Brooks S.T., Suchey J.M. Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Ed. Human evolution.* 1990;5: 227-238.

92. Brooks S.T. Skeletal age at death: Reliability of cranial and pubic age indicators. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1955;13: 567-597.
93. McKern T.W., Stewart T.D. Skeletal age changes in young American Males. Quartermaster Research and Development Command Technical Report EP- 45. Natick, Massachusetts; 1957.
94. Gilbert B.M., McKern T.W. A method of aging the female os pubis. *Am. J. Phys Anthropol.* 1973;38:31-38.
95. Suchey J.M., Wisley D.V, Green R.F, Noguchi T.T. Analysis of dorsal pitting in the os pubis in an extensive sample of modern American females. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1979;51:517-540.
96. Hanihara K., Suzuki T. Estimation of age from the pubis symphysis by means of multiple regression analysis. *Am. J. Phys Anthropol.* 1978;48: 233-239.
97. Genovés S. Proportionality of long bones and their relation to stature among Mesoamericans. *Am. J. Phys Anthropol.* 1967;26: 67-77.
98. Meindl R.S., Lovejoy C.O. Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1985;68(1): 57-66.
99. Acsádi G., Nemeskéri J. History of human life span and mortality. Akadémiai Kiadó, Budapest; 1970.
100. Herrmann B., Grupe G., Hummel S., Piepenbrink H., Schutkowski H. *Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld- und Labormethoden.* Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York; 1990.

101. Broca P. Sur le volumee le forme du cerveau suivant les indiibus et les races. Bulletin Soc. Anthropol. Paris II. 1861;139-207.
102. Murphy T. The changing pattern of dentine exposure in human tooth attrition. Am. J. Phys. Anthropol. 1959;17(1): 167-178.
103. Brothwell D.R. The relationship of tooth wears to aging. En: Iscan M.Y. Ed. Age makers in human skeleton. CC. Thomas Publisher, Springfield, Illinois. 1989; 303-316.
104. Molnar S. Human tooth wear, tooth function and cultural variability. Am. J. Phys Anthropol. 1971;34(2): 175-89.
105. Guerasimov M.M. La reconstrucción del rostro a partir del cráneo. Nauka, Moscú; 1955.
106. Miles A.E. Dentition in the estimating of age. J. Dent Res. 1963;42: 255-263
107. Scott E.C. Dental wear scoring technique. Am. J. Phys. Anthropol. 1979a;51: 213-18.
108. Scott E.C. Principal axis analysis of dental attrition data. Am. J. Phys. Anthropol. 1979b;51: 203-212.
109. Lovejoy C.O. Dental wear in the Libben population: Its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. Am. J. Phys. Anthropol. 1985;68(10): 47-56.
110. Naylor J.W., Miller G.W., Stokes G.N., Scott G.G. Cemental annulation enhancement: a technique for age determination in man. Am. J. Phys Anthropol. 1985;68: 197-20.
111. Macho G.A., Berner M.E. Enamel thickness and the helicoidal occlusal plane. Am. J. Phys Anthropol. 1994;94: 327-338.

112. Haj N., Aissaoui A., Mesrati M.A., Belhadj M., Quatrehomme G., Chadly A. Age estimation from the sternal end of the fourth rib: a study of the validity of İscan's Method in Tunisian male population. *Leg. Med. (Tokyo)*. 2014;16(6): 385-9.
113. İscan M.Y., Loth S.R. Osteological manifestations of age in the adult. En: İscan M.Y. y Kennedy K. Ed. *Reconstruction of life from the skeleton*. Alan R. Liss Inc., New York., Singapore. 1989;23-40.
114. Szilvassy J. Eine Methode zur Altersbestimmung mit Hilfe der sternalen Gelenkflächen der Schlüsselbeine. *Mitteilungen der Anthropologischen Gesellschaft Wien*. 1978;108:166-168.
115. Szilvassy J. Altersdiagnose am Skelett. En: R Knussmann. Ed. *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie de Menschen Band I/1*. G. Fischer, Stuttgart, New York. 1988: 421-443.
116. Vlcek E. Estimation of age from skeleton material based on the degree of thyroid cartilage ossification. *Sound Lek*. 1980;25: 6-11.
117. Mendonça M.C., de Pinto da Costa J. *Antropología Forense*, *Arquivos de Medicina*. 1994;8(6): 405-12, 101.
118. Hertzog K.P., Garn S.M., Hemphill H.O. Partitioning the effects of secular trend and ageing on adult stature. *Am. J. Phys. Anthropol*. 1969;31(1): 111-5.
119. Snow C., Williams J. Variation in premortal statural measurements compared to statural estimates of skeletal remains. *J. Forensic Sci*. 1971;16: 455-63.
120. Trotter M., Gleser G.C. Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes. *Am. J. Phys. Anthropol*. 1952;10: 463-514.

121. Trotter M. Estimation of stature from intact limb bones. En: Stewart TD Ed. Personal identification in mass disasters. Washington DC: National Museum of Natural History. 1970: 71-84.
122. Galloway A. Estimating actual height in the older individual. J. Forensic Sci. 1988;33: 126-136.
123. Langaney A. Os Homens - passado, presente, condicional. (Cap. 3: A diversidade biológica) Lisboa: Oradiva. 1994: 81-166.
124. Martínez J.M. Estatura, salud y bienestar en las primeras etapas del crecimiento económico español. Una perspectiva comparada de los niveles de vida. Asociación española de historia económica. 2001;102.
125. Komlos J. ¿Qué es la historia antropométrica? Revista Historia Económica. 1994;3.
126. Steckel R.H. Health and nutrition in the Preindustrial Era: insights from a millennium of average heights in Northern Europe. NBER Working Paper. 2001;8542.
127. Oiles E., Klepinger L.L. Confidence intervals for estimates based on linear regression in Forensic Anthropology. J. Forensic Sci. 1988;33(5): 1218-22.
128. Meadows L., Jantz R.L. Allometric secular change in the long bones from the 1800s to the present. J. Forensic Sci. 1995;40(5): 762-7.
129. Dwight T. Methods of estimating the height from parts of the skeleton. McReeNY. En: Revene-Coma SM. Ed. Antropología Forense. Madrid: Ministerio de Justicia. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. 1894;46: 293-296.

130. Sue J.J. Sur les proportions du squelette de l'homme, examné depuis l'âge le plus tendre jusqu'à celui de vingt-cinq soixante ans et au delà. Mém. Math. et Phys. Acad. Sci. Paris. 1755;2: 572-585. En: Revene-Coma SM, ed. Antropología Forense. Madrid: Ministerio de justicia. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. 1991:617-71.
131. Orfila M.J. Leçons de Médecine Légale, 2vols.Paris. 1821-1823. En: Revene-ComaSM. Ed. Antropología Forense. Madrid: Ministerio de Justicia. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. 1991;617-71.
132. Fully O. Une nouvelle méthode de déternination de la taille. Annales de Médecine Légale et de Criminologie. 1956;36(5): 266-73.
133. Fully O., Pineau H. Détermination de la stature aumoyen du squelette. Anuales de Médecine Légale et de Criminologie. 1960;40:145-53.
134. Manouvrie R.L. Détermination de la taille d'après les grands os des membres. Revue de l'Ecoled'Anthropologie. 1892;2:227-233.
135. Hauser R., Smolinski J., Gos T. The estimation of stature on the basis of measurements of the femur. Forensic Sci. Int. 2005; 147(2):185-90.
136. Krishan K. Anthropometry in forensic medicine and forensic science-forensic anthropometry. J Forensic Sci. 2007;2(1).
137. Krishan K. Determination of stature from foot and its segments in a North Indian population. Am. J. Foren. Med. Path. 2008;29(4): 297-303.
138. Cordeiro C., Muñoz-Barús J.I., Wasterlain S., Cunha E., Vieira D.N. Predicting adult stature from metatarsal length in a Portuguese population. Forensic Sci. Int. 2009;193(1-3): 131.e1-4.

139. Sen J., Ghosh S. Estimation of stature from foot length and foot breadth among the Rajbanshi: an indigenous population of North Bengal. *Forensic Sci. Int.* 2008;181: 55.e1–6.
140. Zeybek G., Ergur I., Demiroglu Z. Stature and gender estimation using foot measurements. *Forensic Sci. Int.* 2008;181: 54.e1–54.e5.
141. Didia B.C., Nduka E.C., Adele O.O. Stature estimation formulae for Nigerians. *J. Forensic Sci.* 2009;54: 20–21.
142. Auerbach B.M., Ruff C.B. Stature estimation formulae for indigenous North American populations. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2009;141(2): 190–207.
143. Payne-James J., Byard R., Corey T., Henderson C. *Encyclopedia of forensic and legal medicine*. 1^a ed. Elsevier. 2005;100–105.
144. Garmendia A.M., Gómez-Valés J.A., Hernández F., Wesp J.K., Sánchez-Mejorada G. Long bone (humerus, femur, tibia) measuring procedure in cadavers. *J. Forensic Sci.* 2014;59(5): 1325-9.
145. Mendonça M.C.M., Estimation of height from the length of long bones in a Portuguese adult population, *Am. J. Phys. Anthropol.* 2000;112: 39–48.
146. Radoinova D., Tenekedjiev K., Yordanov Y. Stature estimation from long bone lengths in Bulgarians, *Homo.* 2002;52(3): 221–32.
147. Petrovecki V., Mayer D., Slaus M., Strinović D., Skavić J. Prediction of stature based on radiographic measurements of cadaver long bones: a study of the Croatian population. *J. Forensic Sci.* 2007;52(3): 547–52.
148. Chibba K., Bidmos M.A. Using tibia fragments from South Africans of European descent to estimate maximum tibia length and stature. *Forensic Sci. Int.* 2007;169(2–3): 145–51.

149. Hasegawa I., Uenishi K., Fukunaga T., Kimura R., Osawa M. Stature estimation formulae from radiographically determined limb bone length in a modern Japanese population. *Leg. Med.* 2009;11(6): 260–6.
150. Trotter M.L., Gleser G. A re-evaluation of estimation of stature based on measurements taken during life and of long bones after death. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1958;16: 79–123.
151. Muñoz J.I., Liñares-Iglesias M., Suárez-Peñaranda J.M., Mayo M., Miguéns X., Rodríguez-Calvo M.S. Stature estimation from radiographically determined long bone length in a Spanish population sample. *J. Forensic Sci.* 2001;46(2): 363–6.
152. Rich J., Dean D.E., Cheung Y.Y. Forensic implications of foot and ankle. *J. Foot Ankle Surg.* 2003;42(4): 221–5.
153. Giles E., Vollandigham P.H. Height estimation from foot and shoeprint length. *J. Forensic Sci.* 1991;36(4): 1134–51.
154. Meadows L., Jantz R.L. Estimation of stature from metacarpal lengths. *J. Forensic Sci.* 1992;37: 147–154.
155. Bidmos M., Asala S. Calcaneal measurement in estimation of stature of South African blacks. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2005;126: 335–342.
156. Bidmos M., Adult stature reconstruction from the calcaneus of South Africans of European descent. *J. Clin. Forensic Med.* 2006;13: 247–252.
157. Musgrave J.H., Harneja N.K. The estimation of adult stature from metacarpal bone length. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1978;48: 113–120.
158. Sağır M. Estimation stature from X-rays of metacarpals in the Turkish population. *Anthropol. Anz.* 2006; 64(4): 377–88.

159. Jason D.R., Taylor K. Estimation of stature from the length of the cervical, thoracic, and lumbar segments of the spine in American whites and blacks. *J. Forensic Sci.* 1955;40: 59-62.
160. Nagesh K.R. Pradeep Kumar G. Estimation of stature from vertebral column length in South Indians. *Leg. Med. (Tokyo)*. 2006;269–272.
161. Torimitsu S, Makino Y., Saitoh H., Sakuma A., Ishii N., Hayakawa M., Inokuchi G., Motomura A., Chiba F., Hoshioka Y., Iwase H. Stature estimation in Japanese cadavers based on the second cervical vertebra measured using multidetector computed tomography. *Leg. Med.* 2015;17(3):145–149.
162. Byers S, Akoshima K, Curran B. Determination of adult stature from metatarsal length. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1989;79: 275–9.
163. Bidmos M.A. Metatarsals in the estimation of stature in South Africans. *J. Forensic Leg. Med.* 2008; 15:505–9.
164. De Groote I., Humphrey L.T. Body mass and stature estimation based on the first metatarsal in humans. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2011;144(4): 625–32.
165. Davies C.M., Hackman L., Black S. The utility of the proximal epiphysis of the fifth metatarsal in age estimation. *J. Forensic Sci.* 2013;58(2): 436-42.
166. Pablos A., Gómez-Olivencia A., García-Pérez A., Martínez I., Lorenzo C., Arsuaga J.L. From toe to head: use of robust regression methods in stature estimation based on foot remains. *Forensic Sci. Int.* 2013;226(1-3): 299.e1-7.
167. Telkka A. On the prediction of human stature from the long bones: *Acta Anatomica* 1950;9: 103-17.

168. Badkur P., Nate S. Use of regression analysis in reconstruction of maximum bone length and living stature from fragmentary measures of the ulna. *Forensic Sci. Int.* 1990;45: 15-25.
169. Raxter M.H., Auerbach B.M., Ruff C.B. Revision of the Fully Technique for Estimating Statures. *Am. J. Phys. Anthropol.* 2006;130: 374-384.
170. Müller O. Zur Bestimmung der Länge beschädigter Extremitätenknochen. *Anthropol. Anz.* 1935;12: 70-2.
171. Steele D.G., McKern T.W. A method for assessment of maximum long bone length and living stature from fragmentary long bones. *Am. J. Phys Anthropol.* 1969;31(1): 215-28.
172. Steele D.G. Estimation of stature from fragments of long limb bones. *Personal identification in mass disasters*. Ed: Stewart. T.D. Washington DC: National Museum of Natural History. 1970;85-97.
173. Lamas J., Vega R., González J. Identificación personal mediante el estudio de los senos frontales. A propósito de un caso. *Cuad. Med. Forense.* 2008;53-54: 317-326.
174. Schüller A. Note on the identification of skulls by X-ray pictures of the frontal sinuses. *Med. J. Australia.* 1943;1:554-556.
175. Messmer J.M., Fierro M.F. Personal identification by radiographic comparison of vascular groove patterns of the calvarium. *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 1986;7: 159-62.
176. Arensburg B. Methods for age identification on living individuals of uncertain age. *Can. Soc. Forensic Sci. J.* 1989;22:147-157.
177. Bass W. A review of studies on certain forensic aspects of skull identification and individualization. *J. Forensic Sci.* 1989;34: 360-361.

178. Rhine S., Sperry K. Radiographic comparison of mastoid sinus and arterial pattern. *J. Forensic Sci.* 1991;36: 272-279.
179. Sekharan P.C. Identification of skull from its suture pattern. *Forensic Sci. Int.* 1985;27: 205-214.
180. Schollmeyer W. Sutura frontalis (metopica) as hereditary and identification mark. *Tsch Z Gesarite Gerichtl Med.* 1965;56:245-249.
181. Voluter G. The "V" test. *Radiol Clin.* 1959;28:1-32.
182. Singleton A.C. The roentgenological identification of victims of the Noronic disaster. *Am. J. Roentgenol. Ra.* 1951;66: 375-84.
183. Amoëdeo O. *L'Art dentaire en médecine légale.* Paris. Editeurs libraries de l'académie de médecine; 1898.
184. Petju M., Suteerayongpraset A., Thongpud R. Importance of dental records for victim identification following the Indian Ocean tsunami disaster in Thailand. *Public Health.* 2007;121: 251-257.
185. Walker R.A., Lovejoy C.O. Radiographic changes in the clavicle and proximal fémur and their use in the determination of skeletal age at death. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1985;68: 67-78.
186. Sorg M.H, Andrews R.P., Iscan M.Y. Radiographic aging of the adult. En: Iscan M.Y. Ed. *Age Markers in the Human Skeleton.* Springfield, Illinois: CC. Thomas, Pub. 1989;169-194.
187. Rodríguez S., Miguens X., Rodriguez-Calvo M.S., Febrero-Bande M., Muñoz-Barús J.I. Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population. *Forensic Sci. Int.* 2008;226, 297-297.

188. Rodríguez S., González A., Simón A., Rodríguez-Calvo M.S., Febrero-Bande M., Cordeiro C., Muñoz-Barús J.I. The use of computerized tomography in determining stature and sex from metatarsal bones. *Legal Med.* 2014;16: 252-257.
189. Rodríguez S., Rodríguez-Calvo M.S., Febrero-Bande M., Muñoz Barús J.I. Estimating height from the first and second cervical vertebrae in a Spanish population. DOI:10.1016/j.legalmed.2015.08.002.
190. Cordeiro C. Estimativa da estatura a partir dos metatársicos. (Tesis Doctoral). Departamento de Medicina Legal de la Facultad de Medicina de la Universidad de Coimbra; 2002.
191. www.r-project.org
192. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Simon Wood. Chapman and Hall/CRC. February 27; 2006.
193. <http://cran.es.r-project.org/web/paquetes/mgcv/index.html>.
194. Muñoz-Barús J.I., Rodríguez-Calvo M.S., Suárez-Peñaranda J.M., Vieira D.N., Cadarso-Suárez C., Febrero-Bande M. PMICALC: An R code-based software for estimating post-mortem interval (PMI) compatible with Windows, Mac and Linux operating systems *Forensic Sci. Int.* 2010;194: 49–52.
195. Adams B.J., Herrmann N.P. Estimation of living stature from selected anthropometric (soft tissue) measurements: applications for forensic anthropology. *J. Forensic Sci.* 2009;54 (4): 753-760.
196. Kanchan T., Menezes R.G., Moudgil R., Kaur R., Kotian M.S., Garg P.K. Stature estimation from foot dimensions. *Forensic Sci. Int.* 2008;179(2-3): 241-241.



ANEXO I



ARTÍCULOS

1º) Sonia Rodríguez, Xoán Miguéns, María S. Rodríguez-Calvo, Manuel Febrero-Bande, José I. Muñoz-Barús. Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population. *Forensic Science International*. 2008; 226, 297.e1–297.e4.

RESUMEN

La capacidad de determinar la altura en la edad adulta puede ser crucial en la identificación de restos óseos. Muy a menudo, los pequeños huesos que se encuentran entre esos restos no sólo son los más numerosos, sino también los mejores conservados, un hecho que requiere más investigación sobre el desarrollo de métodos para estimar la altura de los metatarsianos. El objetivo de este trabajo es verificar la utilización de las dimensiones de los metatarsianos como estimadores de la talla adulta en una población española utilizando longitudes de metatarsianos determinados radiológicamente y proponer ecuaciones de regresión y probar las fórmulas para determinar la estatura adulta. La presente investigación se basa en un estudio de 228 adultos caucásicos sanos de Galicia (noroeste de España). El primer y segundo metatarsianos del pie izquierdo se midieron mediante una radiografía dorso-plantar utilizando un visor de imágenes médicas digitales. La mejor correlación obtenida fue con la longitud máxima del primer metatarsiano para los varones. La ecuación de regresión correspondiente es la siguiente: $S = 819,88 + 12,79 M1$. Una comparación de los resultados de las estadísticas con las de grupos de población vecina indica que la nuestra es más precisa. Esto debe ser debido a la llamada especificidad de ecuaciones de regresión en relación con la población de base de la que fueron desarrolladas.



Forensic anthropology population data

Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population

Sonia Rodríguez^a, Xoán Miguéns^b, María S. Rodríguez-Calvo^c, Manuel Febrero-Bande^d,
José I. Muñoz-Barús^{c,e,*}

^a Santiago de Compostela University Hospital Complex, Spain

^b Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Monforte Hospital, Spain

^c Department of Pathology and Forensic Science, University of Santiago de Compostela, Spain

^d Department of Statistics and Operations Research, University of Santiago de Compostela, Spain

^e Institute of Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 July 2012

Received in revised form 1 September 2012

Accepted 2 December 2012

Available online 9 January 2013

Keywords:

Forensic anthropology population data

Personal identification

Stature estimation

Metatarsal bone

Linear regression

ABSTRACT

The ability to determine height in adult life can be crucial in the identification of skeletal remains. Very often, the small bones found among such remains are not only the most numerous, but also the best preserved, a fact which calls for more research into developing methods to estimate height from metatarsals. The aim of this paper is to verify the use of the dimensions of the metatarsals as estimators of adult height in a Spanish population using radiologically determined metatarsal lengths and to propose regression equations and test the formulae for determining adult stature. The present research is based on a study of 228 healthy Caucasoid adults from Galicia (NW Spain). The first and second metatarsals of the left foot were measured by a dorso-plantar X-ray using a digital medical image viewer. The best correlation obtained was with the maximum length of the 1st metatarsal for males. The corresponding regression equation is as follows: $S = 819.88 + 12.79 M1$. A comparison of our statistical results with those of neighbouring population groups indicates that ours is more accurate. This must be due to the so-called specificity of regression equations in relation to the series on the base from which they were developed.

© 2013 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

The ability to determine height in adult life can be crucial in the identification of skeletal remains. It is an aspect of forensic science which has not yet been completely resolved, mainly due to the need for an appropriate methodology to enable estimation from diverse bones and also to have recourse to a well studied data base of the reference population. In order to obtain reliable results, it is important to have comparative data obtained from the same population group as the skeletal remains. Given that a skeleton maintains certain proportional relationships between different bones, it is agreed that these estimates are more accurate when long bones are available [1–7]. This need to estimate height is also present in situations where, although no bones are available, other evidence such as footprints of a suspect or victim are present [8–10].

Previous publications have used regression studies to link the dimensions of the feet, hands and footprints with height [11–19], as well as indicating possible relationships between various

measures of soft tissue and height [20]. Skeletal development is influenced by many factors with the result that the proportions between the various bones differ not only between different races, but also between different geographical areas [5]. It is well known that issues such as sex, weight and place of origin have a direct impact on the regression formulas for estimating height [8–15,21] and the possible influence of asymmetry of the limbs in this estimation has also been considered [22]. Evidently, any of these circumstances can modify the estimation, a fact which is reflected in the abundant and necessary scientific literature on this subject [15,17,22–24].

While it is accepted that long bones such as the femur, tibia, fibula, humerus, ulna and radius are those which provide a more accurate estimate of height [4,5,7], in practice one is far more likely to be confronted with bone fragments, thus making the forensic task of estimation even more difficult [25]. However, it is also a fact that small bones are the best preserved and easier to find among skeletal remains, and for this reason it is requisite to develop methods for estimating height from such bones, including those of the foot. For the reasons discussed above, accurate studies of different bones of the hand and foot [11–13,26–32] and metatarsals [24,33] for different populations and regions have

* Corresponding author at: Institute of Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, Spain. Tel.: +34 881812325; fax: +34 881812459.

E-mail address: joseignacio.munoz.barus@usc.es (J.I. Muñoz-Barús).

been published. Although the formulas developed by Byers have been routinely used in the forensic area more than 20 years, it is clear that it is the reference population from which they were obtained which gives them some specificity. Thus, for greater accuracy, it is necessary to obtain appropriate formulae for each population area [7,8,34–36]. This need has been demonstrated by the differences that have arisen when used with other populations [24].

To verify the use of the dimensions of the metatarsals as estimators of adult height in our population, we have developed a method for estimating the stature of Spanish adults using radiologically determined metatarsal lengths.

1. Materials and methods

The present research is based on a study of 228 healthy Caucasian adult volunteers (118 females and 110 males) from Galicia (NW of Spain). All individuals were within the age range of 19–82, and of Galician descent. All persons with skeletal deformities, pathologies or fractures which could preclude accurate measurements were excluded from the study. The volunteers were recruited from the towns and surrounding vicinities of Monforte de Lemos and Santiago de Compostela.

Height was determined using a standard hospital measuring rod, with the volunteer barefoot standing in an erect military position and looking upwards with the back against a graduated ruler. The back was stretched and arms held to the sides. The head, buttocks and heels were in contact with the vertical plane of the instrument. For horizontal reference the Frankfurt horizontal plane was used (an imaginary line from the inferior orbital rim on the same horizontal plane as the external auditory canal). The upper end of the instrument was lowered gently, flattening the hair and making contact with the vertex of the skull. The measurement was recorded twice and registered to the nearest millimetres. The mean was used to obtain the regression formula.

The first and second metatarsals of the left foot of the 228 volunteers were measured by a dorso-plantar X-ray using a digital medical image viewer with an RAIM (Radiological Archive and Image Management) application 1607 JAVA from UDIAT, commonly used in hospitals. Although digital measurement is calibrated by the system itself, in order to minimise errors a metallic ruler was used to confirmed the precision (Fig. 1). All measurements were carried out three times and registered in millimetres.

1.1. Description of the measurements, according to [24]

M1 – Maximum length of 1st metatarsal – the distance between the tip of the tuberosity and the most distal point of the head.

M2 – Maximum length of 2nd metatarsal – the distance between the proximal tip and the most distal point of the head.

The measurements obtained were statistically analysed using the R environment within which statistical techniques are implemented and can be extended via packages (www.r-project.org). The statistical techniques included means, standard deviations and Linear Regression. Additive Models (AM, which are widely used as an extension of traditional linear models (LMs) especially when continuous covariates are present, were obtained via an additional package (<http://cran.es.r-project.org/web/packages/mgcv/index.html>). The existence of standard software in R, such as mgcv package, makes it easy to fit models of this type in practice. In order to calculate a non-biased prediction error, one should not use the same data as that used to obtain predictive formulas. To do this we calculated n models, removing from each of these a predictable observation without letting it partake in the estimation. This method is usually called Cross Validation (CV) and is a standard means to establish the predictive ability of a non-biased model.

2. Results

The average age of men ($n = 110$) was 45.21 years, whereas for women ($n = 118$) was 51.14 years. Descriptive statistics of all measurements for each group are shown in Table 1.

Table 1

Descriptive statistics of all measurements (mm) for each group.

	Female ($n = 118$)				Male ($n = 110$)			
	Minimum	Maximum	Mean	S.D.	Minimum	Maximum	Mean	S.D.
Stature	1390	1723	1581	67.46	1501	1890	1707	81.31
M1	52	88	67.79	6.43	54	82	69.53	5.07
M2	53	88	71.31	6.31	59	83	72.26	4.21



Fig. 1. Dorso-plantar projection of left foot, showing M1 and M2, with a metallic ruler on the right.

The coefficients of correlation between the metatarsal lengths and the true stature were always positive and statistically significant. The correlation value was higher for the male and for the female sample, where the coefficients were higher than 0.7. The correlation value was slightly lower for the entire sample, labelled as “unknown sex” (Tables 2–4).

The highest correlation with stature was M1 for males (maximum length of 1st metatarsal). The corresponding regression equation is as follows: $S = 819.88 + 12.79 M1$, $R = 0.783$.

To test whether this formula performed better than others, we applied it to both single and double measurements, and no significant differences in the correlation coefficients were detected. However, R figures do not increase when a multiple regression is used.

Additive Models have also been used in the field of forensic pathology to estimate time of death [37], where it demonstrated its high predictive power [38]. With this model, for example, to estimate the height of an “unknown sex” from M1, we obtain the formula $S = f(\bar{x}) + \varepsilon = a + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) + \varepsilon$. Calculation of the estimate requires a computer with an appropriate statistical package, which complicates its use, but gains in accuracy. The precision in this case would increase from a value of $R = 0.645$ with the linear model of Table 4 to $R = 0.710$ with the AM (Table 5).

To validate the model in an objective and measurable manner, we estimated the height of our entire population sample used the formulae proposed in this present paper as well as those published

Table 2
Regression formulae for males (in mm).^a

Formula	R	Adj R ²	SE
S = 819.88 + 12.79 M1	0.783	0.613	51.02
S = 687.69 + 14.20 M2	0.705	0.498	59.78

^a Stature (S), maximum length of 1st metatarsal (M1), maximum length of 2nd metatarsal (M2), in mm. SE: standard error; R: correlation coefficient; Adj R²: adjusted determination coefficient.

Table 3
Regression formulae from females (in mm).^a

Formula	R	Adj R ²	SE
S = 1062.852 + 7.606 M1	0.731	0.534	45.43
S = 1051.211 + 7.507 M2	0.711	0.505	46.66

^a Stature (S), maximum length of 1st metatarsal (M1), maximum length of 2nd metatarsal (M2), in mm. SE: standard error; R: correlation coefficient; Adj R²: adjusted determination coefficient.

by Cordeiro et al. for the Portuguese population [24]. The results were compared with the actual heights by calculating the mean-squared errors for each model and the results are shown in Table 6. The errors in estimating stature are much less when our formulae are used. A mean square error of 10,185.63 was obtained with the Portuguese M1 formulae compared to a mean square error of 5692.857 with our M1 formulae.

3. Discussion

In estimating height, several factors must be borne in mind, one of them being age, which should be more than 19, when fusion of the epiphyses occurs [4]. All participants in our study were adults and our formulae cannot therefore be used with under 19 year olds.

The fact that the estimate of height from M1 has the highest value of *R* may be considered an advantage given that the 1st metatarsal tends to be better preserved than the 2nd.

The values of *R* are similar to those obtained in other published work from other population groups (South Africa, Portugal and USA), but with different regression formulae [16,24,33]. Byers et al. [33] reported moderate relationships with correlation coefficients that ranged between 0.59 and 0.89, while Bidmos reported slightly lower values with correlation coefficients ranging between 0.44 and 0.73 [16]. A similar value to ours, which ranged between 0.56 and 0.78, was obtained by Cordeiro et al., with a range between 0.64 and 0.79 [24]. The correlations found here and the validation

Table 4
Regression formulae for unknown sex (in mm).^a

Formula	N	R	Adj R ²	SE
S = 886.797 + 11.016 M1	228	0.645	0.416	75.81
S = 914.09 + 10.15 M2	228	0.567	0.322	80.61

^a Stature (S), maximum length of 1st metatarsal (M1), maximum length of 2nd metatarsal (M2), in mm. SE: standard error; R: correlation coefficient; Adj R²: adjusted determination coefficient.

Table 5
Linear Regression Model versus Additive model *R* figures.^a

Sample	LM-M1	AM-M1	LM-M2	AM-M2
Unknown sex	0.645	0.710	0.567	0.583
Females	0.731	0.732	0.711	0.719
Males	0.783	0.817	0.705	0.705

^a *R* figures of Stature estimation by maximum length of 1st metatarsal (M1) and 2nd (M2) formula; LM-M1: with Linear Regression Model (LM); with Additive Models (AM).

Table 6
Mean square error Spanish versus Portuguese [24] and Spanish validation for the total sample.^a

	Mean square error	Cross Validation error
Cordeiro et al. M1 formulae	10,185.63	
Our M1 formulae	5692.857	5822.006
Cordeiro et al. M2 formulae	6692.185	
Our M2 formulae	6427.904	6575.789

^a Stature estimation by maximum length of 1st metatarsal (M1) formulae, and stature estimation by maximum length of 2nd metatarsal (M2) formulae.

test is significant and therefore the analysis proceeded with confidence.

When our formulae are applied to the previous population groups it is seen that for a male M1 of 69 mm the estimated male stature given by our formula is 1702.3 mm, for Cordeiro et al. (Portuguese) 1714.7 mm, for Byers et al. (Euro-American males) 1813.8 mm, and for Bidmos (Indigenous South Africans males) 1589 mm. Estimation from a female M2 of 71 mm using our formulae gives a stature of 1583.7 mm, with that of Byers et al., 1608.4 mm and 1422.2 mm with that of Bidmos. The formulae proposed by Cordeiro et al. and Byers et al. give higher values than ours (in the example we used the mean values of M1 and M2 in our sample), whereas those of Bidmos give lower values than ours. This situation is explained by the fact that because the reference population is different, so also is the regression formulae.

The precision of estimation obtained with these models has been validated with a CV. To complete the validation we carried out a CV of the total sample and the mean-squared error was estimated (Table 6). As can be deduced from the data shown, the formulas proposed in this paper to estimate height from the measurements obtained from M1 and M2 are more accurate than those proposed by Cordeiro et al. since these latter were obtained from a Portuguese population. This validation is compared with the formulae proposed by Cordeiro et al. due to the geographical and temporal proximity of their reference population with ours. Despite the fact that Additive Models (AM) could offer more flexibility and precision than the Linear Regression Model (LM) we chose the latter because of its widespread use, ease of understanding and speed of calculation.

The correlation figures shown in Tables 2–4 are approximately the same magnitude as for living stature from anthropometric soft tissue measurements [20], or stature estimated from fragmentary long bones [39–41], or from foot dimensions [8,26,42]. It is also reported that the dimensions of feet and hands can be used in forensic work to provide a satisfactory estimate of stature. The length of the foot has similar *R* values to those proposed in this present study, but for other populations [14], and with certain limitations dependent on body weight [21] which were not taken into consideration in this present study.

4. Conclusion

The metatarsals are often the most complete and well preserved bones in cases of forensic anthropology. The data they supply has proved to be a valuable contribution in assessing the biological profile and made it possible to construct anthropometric regression equations for stature estimation. Although it is possible to obtain more accurate, albeit more complex, estimations of stature with AM models, the use of LM to predict stature from metatarsal measurements has proved to be the quickest and most useful mathematical model [24].

Obviously, recent studies on estimation of stature are far more accurate than those previously published simply because they have benefited from access to reference population formulae

subjected to the same regional, social and ethnic variations as the skeletal remains under investigation [16,24,26,43].

When the results from Cordeiro's equations [24] were compared to ours, statistical results indicate that ours were more accurate. This must be due to the so-called specificity of regression equations in relation to the series on the base from which they were developed. In fact, our formulae were obtained from a reference population of contemporary individuals with known in life stature.

Although our formulae seem more appropriate to estimate stature, other formulae should not be rejected because they could still be useful when specific formulae for a specific population are unknown or not available.

Acknowledgement

Partially supported by grant MTM2008-03010.

References

- [1] L. Manouvrier, La Détermination de la taille d'après les grands os des membres, *Mém. Soc. D'Anthropol. Série 2* (4) (1893) 347–402.
- [2] G. Olivier, H. Tissier, Détermination de la stature et de la capacité crânienne, *Bull. Mém. Soc. d'Anthropol. de Paris, 13^{ème} Série T* (2) (1975) 1–11.
- [3] G. Olivier, H. Tissier, Estimation de la stature féminine d'après les os longs des membres, *Bull. Mém. Soc. d'Anthropol. de Paris, 13^{ème} Série T* (2) (1975) 297–306.
- [4] M.L. Trotter, G. Gleser, Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes, *Am. J. Phys. Anthropol.* 10 (1952) 463–514.
- [5] M.L. Trotter, G. Gleser, A re-evaluation of estimation of stature based on measurements taken during life and of long bones after death, *Am. J. Phys. Anthropol.* 16 (1958) 79–123.
- [6] M.L. Trotter, G. Gleser, Corrigenda to "Estimation of stature from long limb bones of American Whites and Negroes", *Am. J. Phys. Anthropol.* 47 (1977) 355–356.
- [7] J.I. Muñoz, M. Linares-Iglesias, J.M. Suárez-Peñaranda, M. Mayo, X. Miguéns, M.S. Rodríguez-Calvo, L. Concheiro-Carro, Stature estimation from radiographically determined long bone length in a Spanish population sample, *J. Forensic Sci.* 46 (2) (2001) 363–366.
- [8] J. Sen, S. Ghosh, Estimation of stature from foot length and foot breadth among the Rajbanshi: an indigenous population of North Bengal, *Forensic Sci. Int.* 181 (2008) 55.e1–55.e6.
- [9] R.E. Wunderlich, P.R. Cavanagh, Gender differences in adult foot shape: Implications for shoe design, *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (2001) 605–611.
- [10] C.C. Gorden, J.E. Buikstra, Linear models for the prediction of stature from foot and boot dimensions, *J. Forensic Sci.* 37 (1992) 771–782.
- [11] K. Krishan, Determination of stature from foot and its segments in a North Indian population, *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 29 (4) (2008) 297–303.
- [12] E. Giles, P.H. Vallandigham, Height estimation from foot and shoeprint length, *J. Forensic Sci.* 36 (1991) 1134–1151.
- [13] K. Krishan, Estimation of stature from footprint and foot outline dimensions in Gujjars of North India, *Forensic Sci. Int.* 175 (2–3) (2008) 93–101.
- [14] K. Krishan, A. Sharma, Estimation of stature from dimensions of hands and feet in a North Indian population, *J. Forensic Leg. Med.* 14 (6) (2007) 327–332.
- [15] K. Krishan, Individualizing characteristics of footprints in Gujjars of North India – forensic aspects, *Forensic Sci. Int.* 169 (2–3) (2007) 137–144.
- [16] M.A. Bidmos, Metatarsals in the estimation of stature in South Africans, *J. Forensic Leg. Med.* 15 (8) (2008) 505–509.
- [17] B. Danborno, A. Elukpo, Sexual dimorphism in hand and foot length, indices. Stature-ratio and relationship to height in Nigerians, *Internet J. Forensic Sci.* 3 (1) (2008).
- [18] P. Rastogi, T. Kanchan, R.G. Menezes, K. Yoganarasimha, Middle finger length – a predictor of stature in the Indian population, *Med. Sci. Law* 49 (2) (2009) 123–126.
- [19] B.C. Didia, E.C. Nduka, O.O. Adele, Stature estimation formulae for Nigerians, *J. Forensic Sci.* 54 (January (1)) (2009) 20–21, Epub 2008 Nov 10.
- [20] B.J. Adams, N.P. Herrmann, Estimation of living stature from selected anthropometric (soft tissue) measurements: applications for forensic anthropology, *J. Forensic Sci.* 54 (4) (2009) 753–760.
- [21] K. Krishan, Establishing correlation of footprints with body weight – forensic aspects, *Forensic Sci. Int.* 179 (1) (2008) 63–96.
- [22] K. Krishan, T. Kanchan, J.A. DiMaggio, A study of limb asymmetry and its effect on estimation of stature in forensic case work, *Forensic Sci. Int.* 200 (1–3) (2010), 181.e1–181.e5.
- [23] O. Joy, E. Ahmed, O. Gabriel, E. Ezon-ebidor, Anthropometric study of the facial and nasal length of adult Igbo ethnic group in Nigeria, *Internet J. Biol. Anthropol.* 2 (2) (2009).
- [24] C. Cordeiro, J.I. Muñoz-Barús, S. Wasterlain, E. Cunha, D.N. Vieira, Predicting adult stature from metatarsal length in a Portuguese population, *Forensic Sci. Int.* 193 (2009) 131.e1–131.e4.
- [25] M.A. Bidmos, Stature reconstruction using fragmentary femora in South Africans of European descent, *J. Forensic Sci.* 53 (5) (2008) 1044–1048.
- [26] T. Kanchan, R.G. Menezes, R. Moudgil, R. Kaur, M.S. Kotian, R.K. Garg, Stature estimation from foot dimensions, *Forensic Sci. Int.* 179 (2–3) (2008) 241.e1–241.e5.
- [27] T.D. Holland, Estimation of adult stature from the calcaneus and talus, *Am. J. Phys. Anthropol.* 96 (1995) 315–320.
- [28] M. Bidmos, S. Asala, Calcaneal measurement in estimation of stature of South African blacks, *Am. J. Phys. Anthropol.* 126 (2005) 335–342.
- [29] M.A. Bidmos, Adult stature reconstruction from the calcaneus of South Africans of European descent, *J. Clin. Forensic Med.* 13 (2006) 247–252.
- [30] J.H. Musgrave, N.K. Harnela, The estimation of adult bone stature from metacarpal bone length, *Am. J. Phys. Anthropol.* 48 (1978) 113–119.
- [31] S.G. Sanli, E.D. Kizilkanat, N. Boyan, E.T. Ozsahin, M.G. Bozkir, R. Soames, H. Erol, O. Oguz, Stature estimation based on hand length and foot length, *Clin. Anat.* 18 (2005) 589–596.
- [32] L. Meadows, R.L. Jantz, Estimation of stature from metacarpal lengths, *J. Forensic Sci.* 37 (1992) 147–154.
- [33] S. Byers, K. Akoshuma, B. Curran, Determination of adult stature from metatarsal length, *Am. J. Phys. Anthropol.* 79 (1989) 275–279.
- [34] C.W. Dupertuis, J.A. Hadden Jr., On the reconstruction of stature from long bones, *Am. J. Phys. Anthropol.* 9 (1951) 15–53.
- [35] C. Mountrakis, C. Eliopoulos, Ch.G. Koiliak, S.K. Manolis, Sex determination using metatarsal osteometrics from the Athens collection, *Forensic Sci. Int.* 200 (2010) 178.e1–178.e7.
- [36] M.C.M. Mendonça, Estimation of height from the length of long bones in a Portuguese adult population, *Am. J. Phys. Anthropol.* 112 (2000) 39–48.
- [37] J.I. Muñoz-Barús, M.S. Rodríguez-Calvo, J.M. Suárez-Peñaranda, D.N. Vieira, C. Cadarso-Suárez, M. Febrero-Bande, PMICALC: an R code-based software for estimating post-mortem interval (PMI) compatible with Windows, Mac and Linux operating systems, *Forensic Sci. Int.* 194 (2010) 49–52.
- [38] J.I. Muñoz-Barús, M. Febrero-Bande, C. Cadarso-Suárez, Flexible regression models for estimating postmortem interval (PMI) in forensic medicine, *Stat. Med.* 27 (2008) 5026–5038.
- [39] G. Steele, T. McKern, A method for assessment of maximum long bone length and living stature from fragmentary long bones, *Am. J. Phys. Anthropol.* 31 (1969) 215–227.
- [40] K.V. Rao, G.D. Gupta, V.N. Sehgal, Determination of length of human upper limb long bones from their fragments, *Forensic Sci. Int.* 41 (3) (1989) 219–223.
- [41] K. Chibba, M.A. Bidmos, Using tibia fragments from South Africans of European descent to estimate maximum tibia length and stature, *Forensic Sci. Int.* 169 (2–3) (2007) 145–151.
- [42] G. Zeybek, I. Ergur, Z. Demiroglu, Stature and gender estimation using foot measurements, *Forensic Sci. Int.* 181 (2008) 54.e1–54.e5.
- [43] B.M. Auerbach, C.B. Ruff, Stature estimation formulae for indigenous North American populations, *Am. J. Phys. Anthropol.* (July) (2009) 9.

2º) Sonia Rodríguez, Antonio González, Antía Simón, María S. Rodríguez-Calvo, Manuel Febrero-Bande, Cristina Cordeiro, José I. Muñoz-Barús. The use of computerized tomography in determining stature and sex from metatarsal bones. *Legal Medicine*. 2014; 16:252–257.

RESUMEN

Este estudio evalúa la eficacia de un método radiológico para estimar la estatura a partir de mediciones del primer y segundo metatarsiano tomado de una colección de metatarsianos de una población caucásica portuguesa en el que las mediciones se hicieron directamente en el hueso. El valor más alto del coeficiente de determinación y el error estándar más bajo se obtuvieron con la longitud fisiológica del segundo metatarsiano (F2), utilizando la ecuación $S = 895,4803 + 10.7848F2$. Las regresiones lineales obtenidos muestran diferencias significativas entre las alturas estimadas de M1. Además, ofrecemos un método simple para la determinación del sexo en base a la longitud máxima (M1) y anchura (W1) del primer metatarsiano, donde $W1 = x1$; $(M1 / W1) = x2$; $\beta_0 = 55,4767$; $\beta_1 = -2.5796$ y $\beta_2 = 4.6898$. Aquí presentamos un método de medición mediante tomografía computarizada que permite estudios de población utilizando voluntarios vivos sin incurrir en las dificultades de la medición en el hueso.



The use of computerized tomography in determining stature and sex from metatarsal bones



Sonia Rodríguez^a, Antonio González^b, Antía Simón^c, María S. Rodríguez-Calvo^{d,e},
Manuel Febrero-Bande^f, Cristina Cordeiro^{c,g,h}, José I. Muñoz-Barús^{d,e,*}

^a Santiago de Compostela University Hospital Complex, Spain

^b Department of Estomatology, University of Santiago de Compostela, Spain

^c National Institute of Legal Medicine and Forensic Sciences – Centre Branch, Portugal

^d Department of Pathology and Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, Spain

^e Institute of Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, Spain

^f Department of Statistics and Operations Research, University of Santiago de Compostela, Spain

^g Faculty of Medicine, University of Coimbra, Portugal

^h CENCIFOR (Centre of Forensic Sciences) – Foundation for Science and Technology, Portugal

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 February 2014

Received in revised form 15 May 2014

Accepted 19 May 2014

Available online 24 May 2014

Keywords:

Sex determination

Stature

Computerized tomography

Metatarsal

ABSTRACT

This study evaluates the efficacy of a radiological method to estimate stature from measurements of the first and second metatarsal taken from a collection of metatarsals of a Portuguese Caucasian population in which the measurements were made directly on the bone. The highest coefficient of determination and the lowest standard error were obtained with the physiological length of the second metatarsal (F2), using the equation $S = 895.4803 + 10.7848F2$. The linear regressions obtained show significant differences between the estimated heights from M1. In addition, we offer a simple method for sex determination based on the maximum length (M1) and width (W1) of the first metatarsal, where $W1 = x_1$; $(M1/W1) = x_2$; $\beta_0 = 55.4767$; $\beta_1 = -2.5796$ and $\beta_2 = -4.6898$. Here we present a method of measurement using computerized tomography that enables population studies using live volunteers without incurring the difficulties of on the bone measurement.

© 2014 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The determination of sex, age, weight and height can be crucial in forensic identification, and height in life, a basic element in reconstructing the biological profile, can be calculated from skeletal remains [1–9]. Variations between the measured height of the cadaver and height measured in vivo can be as much as 1.5 cm in males and 2 cm in women [1,5–8,10,11]. In cases involving recent and complete cadavers, height measurement can be performed directly on the body, as in a living individual, but when dealing with skeletal fragments different techniques are required. Regression formulae of long bones are the most useful, especially those of the lower limbs (femur and tibia) [1,6,7,10–16]. However, long bones are fragile and, when found, are often fragmented. To

overcome this problem several formulae have been developed to enable these fragments to be used in estimating height [8,18–22].

Small bones have proved to be much more resistant to the rigors of time, due in part to the protection offered by footwear and clothing, as well as particular features of their own tissues, [2–4]. These small bones (from either the hand or foot) are easily recovered and contribute more reliable results than fragmented long bones [19–22]. Several studies report stature estimation calculated from indirect measurements of the hand [23], footprints [24–30] and shoe size [31], and in more contemporary studies metatarsals have proved useful in estimating height [32–36].

Together with height, sex determination is also a basic element in the development of a biological profile [37].

In some studies bones have first been measured radiologically on live volunteers [7,11,13], and the results used to obtain useful formulae for later use in the identification of fragmented bodies and skeletonized victims. One of the main advantages of using radiology is the display of skeletal structures without the need to remove the surrounding soft tissue, thereby avoiding body

* Corresponding author at: Institute of Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, Spain. Tel.: +34 981 812 325; fax: +34 981 812 459.

E-mail address: josegnacio.munoz.barus@usc.es (J.I. Muñoz-Barús).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.legalmed.2014.05.006>

1344-6223/© 2014 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

amputation and allowing, if necessary, its use on living individuals. Furthermore, it serves as an extremely useful aid to victim identification by providing virtual face models and global shape analyses for age estimation [39–42].

This study developed regression formulas obtained from CT scan imaging of the first and second metatarsals, using a collection of metatarsals taken from a Portuguese Caucasian population [33,34]. In addition, we offer a simple method for sex determination based on the new measurements. Each formula obtained should only be used within the population from which it was obtained, given that genetic differences between distinct social-geographic areas can alter the relationship between body measurements [15,17].

2. Materials and methods

2.1. Sample

In this study we used a previously published sample [33,34], comprising a collection of the first and second metatarsal of the left foot extracted in 2002 from cadavers within a recent post mortem, measured and identified by sex and age. All subjects were Caucasians of Portuguese nationality and in order to homogenize the sample the authors took into account a number of criteria:

- Age of the individual at the time of death between 20 and 75 years.
- Absence of fractures in the left lower limb.
- Absence of fractures or any other conditions that might cause changes in body height.
- Absence of obvious pathology in the feet, such as ankylosis, deformities or osteophytes.

The sample comprised 90 males (81.8%) and 20 females (18.2%). The mean age of the sample was 46.06 ± 12.07 (males 46.20 ± 12.28 years, females 45.37 ± 11.29 years).

All data were obtained from the original authors [33,34], and the study was approved by ethics committee.

2.2. Measurement of the metatarsals using computerized tomography (CT)

Metatarsals were thawed at room temperature. Two pairs were found to be fragmented and therefore discarded, while the remaining 108 pairs were correctly identified, and grouped on trays for re-measurement by a dental scanner. The images were subsequently digitalized.

The dental scan technique uses computerized tomography (CT), which although developed for use in dentistry, can also be used for the study of small bones or fragments thereof. By means of appropriate software, it enables life-size reconstructions and correct visualization of anatomical structures. For image display, thicknesses from 0.25 to 1.0 mm were used, and in all cases the least possible thickness was taken and then processed by i-CATVision™ 1.9.2.17 software (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, US).

All measurements were carried out twice by the same observer at time intervals of a sufficient length to eliminate the possibility of values recorded in the first measurement interfering with those of the second. In this way two sets of measurements were obtained and the mean of each pair of measurements was calculated and recorded in millimetres. This method is similar to that used in other publications in this same field, and in keeping with common practice, full data is not necessarily published [33,34,36,38,43,44]. The mean intra-observer error, calculated following the equation presented by Albanese et al., was less than 2% [45].

2.3. Description of measurements

Measurements were obtained according to Cordeiro et al. [34] to which an extra dimension of width was added.

M1 – Maximum length of 1st metatarsal – The distance between the tip of the tuberosity and the most distal point of the head (Fig. 1).

M2 – Maximum length of 2nd metatarsal – The distance between the proximal tip and the most distal point of the head (Fig. 4).

W1 – Width of the first metatarsal (W1): straight-line distance between the edge and the medial first metatarsal measured at the middle of diaphysis (Figs. 2 and 3).

F1 – Physiological length of 1st metatarsal – The distance between the deepest point of the proximal articular surface and the most distal point of the head (Fig. 1).

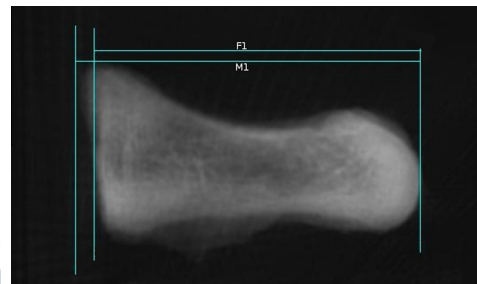


Fig. 1. Maximum (M1) and physiological (F1) length of the first metatarsal.

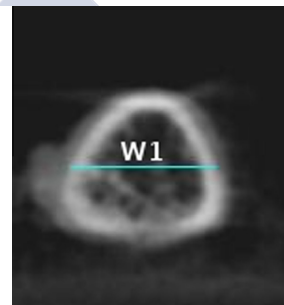


Fig. 2. Width of the first metatarsal (W1), cross-sectional view.

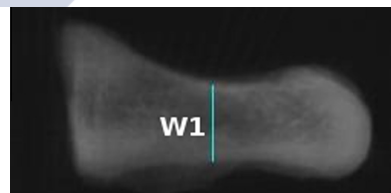


Fig. 3. Width of the first metatarsal (W1), longitudinal view.

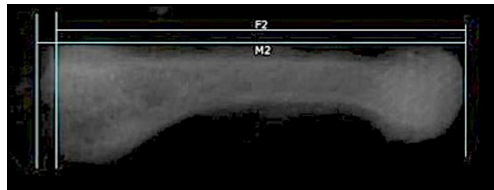


Fig. 4. Maximum (M2) and physiological length of the second metatarsal (F2).

F2 – Physiological length of 2nd metatarsal – The distance between the deepest point of the proximal articular surface and the most distal point of the head (Fig. 4).

M2 – Maximum length of 2nd metatarsal – The distance between the proximal tip and the most distal point of the head (Fig. 4).

2.4. Statistical method

The measurements obtained were statistically analysed using the R environment within which statistical techniques are implemented and can be extended via packages (www.r-project.org) [46]. The statistical techniques included means, standard deviations and linear regression, additive models (AM), which are widely used as an extension of traditional linear models (LMs) especially when continuous covariates are present, were obtained via an additional package [47].

3. Results

Table 1 shows the descriptive data of the sample.

The correlation coefficients between the lengths of the metatarsals and height were always positive and statistically significant.

3.1. Simple linear regression equations

Equations to estimate the height are presented in three tables for male, female and an assumed case of sex unknown (see Tables 2–5).

Equations for males have a determination coefficient greater than 0.4, except when using the maximum length of the first metatarsal, which shows a coefficient of 0.37 ($S = 930.866 + 11.638M1$). The equation with a greatest coefficient of determination ($AdjR^2 = 0.48$) and the lowest standard error ($SE = 51.6$) is that used for the calculations of physiological measurement in the second metatarsal (F2), $S = 942.247 + 10.231F2$ (see Table 2).

In the female group, estimation of stature using the maximum length of the first metatarsal, $S = 972.760 + 10.668M1$, had the highest coefficient of determination ($AdjR^2 = 0.41$) and the lowest standard error ($SE = 47.61$). All results are given in Table 3.

Table 1
Descriptive statistics for all measures in millimeters, for each group.

	Male (n = 88)				Female (n = 20)			
	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD
S	1480.00	1950.00	1705.45	72.17	1500.00	1770.00	1619.00	62.06
M1	56.40	75.60	66.56	3.85	53.10	71.40	60.58	3.87
F1	53.70	72.30	62.54	3.73	51.00	68.70	57.77	3.93
M2	63.00	96.60	78.08	5.07	63.60	82.20	71.94	4.84
F2	59.10	93.60	74.60	4.95	60.90	79.20	69.31	4.85
W1	11.10	18.90	14.35	1.28	10.50	15.00	12.64	1.24

Height (S), maximum length of the first metatarsal (M1), first metatarsal physiological length (F1), the maximum length of the second metatarsal (M2), second metatarsal physiological length (F2), and first metatarsal width measured at the half of the shaft (W1).
SD: standard deviation.

Table 2

Regression equation for male individuals in millimeters.

Formula	N	R	AdjR ²	SE
$S = 916.490 + 12.62F1$	88	0.6474	0.4192	55
$S = 930.866 + 11.638M1$	88	0.6158	0.3793	56.86
$S = 942.247 + 10.231F2$	88	0.6979	0.4871	51.69
$S = 957.658 + 9.577M2$	88	0.6680	0.4463	53.71

Height (S), maximum length of the first metatarsal (M1), physiological length of second metatarsal (F1), the maximum length of the second metatarsal (M2), physiological length of second metatarsal (F2).

SE: standard error, R: correlation coefficient, AdjR²: coefficient of determination.

Table 3

Regression equation for female individuals in millimeters.

Formula	N	R	AdjR ²	SE
$S = 1022.281 + 28.1F1$	20	0.6285	0.3951	48.27
$S = 972.760 + 10.668M1$	20	0.6414	0.4114	47.61
$S = 1081.387 + 7.757F2$	20	0.5758	0.3316	50.74
$S = 1019.813 + 8.330M2$	20	0.6246	0.3902	48.47

Height (S), maximum length of the first metatarsal (M1), first metatarsal physiological length (F1), the maximum length of the second metatarsal (M2), second metatarsal physiological length (F2).

SE: standard error, R: correlation coefficient, AdjR²: coefficient of determination.

Table 4

Regression equation for unknown sex in millimeters.

Formula	N	R	AdjR ²	SE
$S = 866.564 + 13.347F1$	108	0.7147	0.5112	54.42
$S = 886.378 + 12.270M1$	108	0.7081	0.5015	55.19
$S = 895.4803 + 10.7848F2$	108	0.7353	0.5407	52.75
$S = 901.0572 + 10.2462M2$	108	0.7278	0.5298	53.37

Height (S), maximum length of the first metatarsal (M1), physiological length of the first metatarsal (F1), maximum length of the second metatarsal (M2), physiological length of the second metatarsal (F2).

SE: standard error, R: correlation coefficient, AdjR²: coefficient of determination.

Equations without regard to sex were calculated for the entire sample. All coefficients of determination values obtained were superior to those described in previous cases. The highest coefficient of determination ($AdjR^2 = 0.54$) and the lowest standard error ($SE = 52.75$) was obtained with the physiological length of the second metatarsal (F2), with the equation $S = 895.4803 + 10.7848F2$ (Table 4).

3.2. Comparing estimated stature

Table 5 shows height estimations from second metatarsals with a physiological length of 74, 72 and 70 mm taken from the remains

Table 5

Comparison of estimated heights in millimeters for male samples with a physiological length of the second metatarsal (F2) of 70, 72 and 74 mm. Comparison of estimated heights in millimeters for female samples with a maximum length of the first metatarsal (M1) of 58, 60 and 62 mm.

Male					Female				
		Physiological length of the second metatarsal (mm)					Maximum length of the first metatarsal (mm)		
		70	72	74			58	60	62
Formula		S (mm)			Formula		S (mm)		
Our data [32] [21] [34]	S = 942.247 + 10.231F2	1658.41	1678.87	1699.34	S = 972.760 + 10.668M1	1591.50	1612.84	1634.17	
	S = 873 + 11.1(Met2)	1650	1672.2	1694.4	S = 783 + 13.9(Met1)	1589.2	1617	1644.8	
	S = 840 + 9.6M2	1512	1531.2	1550.4	S = 635.7 + 13.9M1	1459.9	1469.7	1515.5	
	S = 830.389 + 11.623F2.C	1643.99	1667.24	1690.49	S = 869.005 + 12.002M1.C	1565.12	1589.12	1613.12	

Physiological length of the second metatarsal (F2), length of the second metatarsal (Met2, M2), physiological length of the second metatarsal measured directly on the bone (F2.C), Maximum length of the first metatarsal (M1, Met1) length of the first metatarsal, maximum length of the first metatarsal measured directly on the bone (M1.C).

of 3 male individuals as well as those obtained from first metatarsals of 58, 60 and 62 mm in length from the remains of 3 females.

3.3. Sexing

In the present study we have developed a method for sex determination through analysis of the first metatarsal by means of a generalized linear model (GLM) from which we have obtained an equation that calculates the probability that an individual is female.

The value obtained ($P(\text{female})$) will indicate the probability of a sample being from a female. A result of $P > 0.5$ indicates a female and $P < 0.5$ a male. A result of $P = 0.5$ suggests equal probability that the individual is male. The equation for determining the sex is based on the maximum length (M1) and width (W1) of the first metatarsal, where $W1 = x_1$; $(M1/W1) = x_2$; $\beta_0 = 55.4767$; $\beta_1 = -2.5796$ and $\beta_2 = -4.6898$, hence:

$$P(\text{female}) = \frac{\exp(55.4767 - 2.5796x_1 - 4.6898x_2)}{1 + \exp(55.4767 - 2.5796x_1 - 4.6898x_2)}$$

4. Discussion

Although studies have shown that the most accurate estimate of stature is provided by measuring the intact remains of longer bones, the fact that these are often fragmented or absent requires alternative solutions. There are no previous studies in the literature that associate the freezing of bones at a constant -20°C with possible changes in size, although given the small size of the metatarsals, any such effect would not be significant. Nevertheless, our investigation highlights the need to study the possible effect of freezing on bone size so this paper aims to demonstrate the usefulness of CT scan in the measurement of metatarsals in order to estimate stature and determine sex. The linear regression model has proved to be the fastest and the most useful of all mathematical models used to predict height from the size of the feet [32]. For this reason it was selected to obtain the regression equations used in this study and to compare the results with those developed in previous studies [33,34] using the same metatarsals.

In this study we successfully obtained several equations which not only estimate height in life, but also, and, for the first time, verify sex: both basic parameters in the construction of an individual biological profile. To validate this finding, it was essential to use bones which had been clearly identified for both sex and height [33,34].

The high accuracy of CT would allow a clear distinction between the articulated structures in living individuals. The high reproducibility of the radiographic measurements attained in this paper, as

in other similar published works, is hardly surprising given that it makes use of programs specifically designed for measurement of computerised imaging. Such methods are highly standardized and have demonstrated, independently of the bone being measured, that they do not differ in any way from the clinical use for which they were designed. We were also able to correlate the maximum length of the first metatarsal with the width of the diaphysis of the first metatarsal, W1, a new dimension, in order to obtain a new formula for sex determination by using the general linear model.

The equations obtained show clear differences to those obtained in previous studies [33,34]. The most reliable formula in the current study corresponds to that which uses the value of the physiological length of the second metatarsal (F2) for its calculations. R values are similar to those of other publications in this respect, and although they are lower than those showing regression formulas for estimating stature from long bones [14], we cannot stop using them when the only remains that may appear on the scene are metatarsals. For the purpose of comparison, Table 5 shows height estimations from previously published formulae [21,32,34], as well as the equations presented in this current.

It is important to note that the measurements in some studies [19–22] were taken from the apex of the head to the midpoint of the articular surface of the metatarsal and do not correspond to the maximum physiological lengths used in studies by Cordeiro et al. [33,34], and Danborno et al. [37] and also in this present study.

The regression equations we present enable a determination of stature in a Portuguese population based on measurements made by dental scanner. Although these formulae differ both from those previously published for the Portuguese population as well as [33,34] the current ones, they are nevertheless useful and desirable because they are statistically significant with high coefficients of determination. These differences are reflected in the graphical representation of the formulae, since the use of more or less representative samples is not as good an indicator as the use of all the data and the precision given by the respective R values. In Fig. 5 the linear regressions obtained with the measurements made with dental CT are represented by a solid line, and those obtained in previous studies [33,34] by a dashed line. In all the graphs, the two lines, although proximate, show differences, the most significant being that between the estimated height from M1. Both, in this case as in F1, using the equation obtained previously [33,34] heights are underestimated when measurements are taken with dental CT. In the two remaining graphs M2 and F2, it can be seen how the lines almost coincide along their path and cross for average values, except for extreme values, which are more divergent. All the cases in the study, a total of 108 pairs of bones were used in this comparison. This difference may be due to the remains of soft

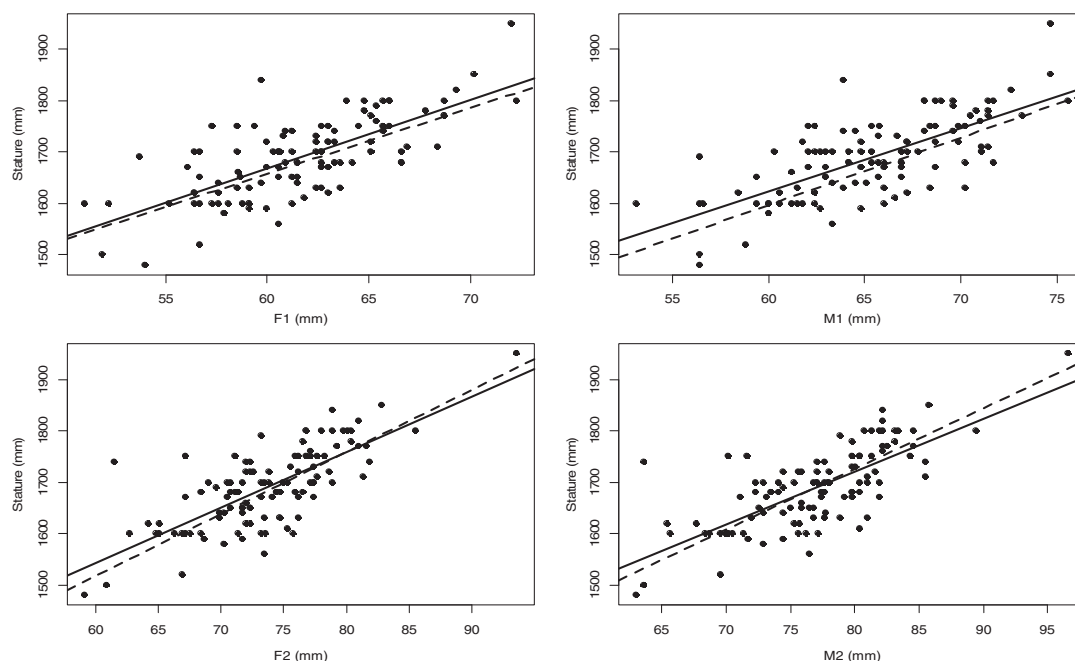


Fig. 5. Linear regression lines obtained from dental CT are represented by a solid line and those from Cordeiro et al. [34] by the dotted line. Each point represents each metatarsal in the sample with the dental CT measurements of F1, M1, or M2 F2 and the corresponding actual height. The solid line shows the equation obtained from measurements made with dental TC, the dotted line shows the equations obtained by Cordeiro et al. F1 is physiological length of the first metatarsal, M1 is the maximum length of the first metatarsal, F2 is physiological length of the second metatarsal and M2 is maximum length of the second metatarsal. All measurements are in millimeters.

tissue and cartilage on the metatarsal, which could lead to an over-estimation of average height if the measurements obtained with CT are used with the formulae of previous studies [33,34] or because the anatomical landmarks are easy to locate and facilitate repeated measurements. Any method that might claim to be a better method for preparing bones for direct measurement could hardly improve on that of radiographic measurement, which avoids these problems [33,34].

Being able to determine the sex, besides its obvious identification value, also allows the use of the appropriate formula. Although there are already publications that address sex estimation from hands and feet not one of them is based on direct metatarsal measurement. The prediction results of the model in the sample can be used as a diagnostic tool. Our method classifies correctly 85 of 88 males and 12 of 20 females, which corresponds to an overall 10% misclassification error. A larger sample would be able to correctly estimate this error, but in our case this could not be done because the data used is from a previously published sample [34].

The CT technique offers the great advantage of working with live volunteers and thereby facilitating population studies. Also, despite attempts to remove them, the effect of soft tissue on measurements taken directly from cadaver bones is not easy to quantify, which does not occur with dental CT. Furthermore, CT scan enables bone reconstruction as a means of providing morphometric data of skeletal structures in victim identification [38], as well as providing virtual face models, global shape analyses and an evaluation of trabecular bone change for age estimation [39–42].

This study presents a method of measurement that enables population studies using live volunteers and avoids the great

difficulties imposed by directly on the bone measurement. It also highlights the need for the judicious use of formulae to estimate stature, which, apart from corresponding to the reference population, should also correspond to the same mode of measurement.

Acknowledgments

Partially supported by Spanish Grant MTM2008-03010. Presented in part at the 11th Congresso Nacional de Medicina Legal e Ciências Forenses. Évora-Portugal.

References

- [1] Rich J, Dean DE, Cheung YY. Forensic implications of foot and ankle. *J Foot Ankle Surg* 2003;42(4):221–5.
- [2] Rich J, Dean DE, Powers RH. Forensic medicine of the lower extremity: human identification and trauma analysis of the thigh, leg and foot. 1st ed. Humana Press; 2005 (69–98, 113–237).
- [3] Rich J, Tatak NE, Powers RH, Brogdon BG, Lewis BJ, Dean DE. Using pre- and post-surgical foot and ankle radiographs for identification. *J Forensic Sci* 2002;47(6):1319–22.
- [4] Payne-James J, Byard R, Corey T, Henderson C. Encyclopedia of forensic and legal medicine. 1st ed. Elsevier; 2005 (100–105).
- [5] Hauser R, Smoliński J, Gos T. The estimation of stature on the basis of measurements of the femur. *Forensic Sci Int* 2005;147(2):185–90.
- [6] Petrovečki V, Mayer D, Šlaus M, Strinović D, Škavić J. Prediction of stature based on radiographic measurements of cadaver long bones: a study of the Croatian population. *J Forensic Sci* 2007;52(3):547–52.
- [7] Chibba K, Bidmos MA. Using tibia fragments from South Africans of European descent to estimate maximum tibia length and stature. *Forensic Sci Int* 2007;169(2–3):145–51.
- [8] Adams BJ, Herrmann NP. Estimation of living stature from selected anthropometric (soft tissue) measurements: applications for forensic anthropology. *J Forensic Sci* 2009;54(4):753–60.

- [9] Gulsah Z, Ipek E, Zehra D. Stature and gender estimation using foot measurements. *Forensic Sci Int* 2008;181:54.e1–5.
- [10] Radoinova D, Tenekedjiev K, Yordanov Y. Stature estimation from long bone lengths in Bulgarians, Homo. *J Comp Hum Biol* 2002;52(3):221–32.
- [11] Hasegawa I, Uenishi K, Fukunaga T, Kimura R, Osawa M. Stature estimation formulae from radiographically determined limb bone length in a modern Japanese population. *Leg Med* 2009;11(6):260–6.
- [12] Trotter ML, Gleser G. Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes. *Am J Phys Anthropol* 1952;10:463–514.
- [13] Trotter ML, Gleser G. A re-evaluation of estimation of stature based on measurements taken during life and of long bones after death. *Am J Phys Anthropol* 1958;16:79–123.
- [14] Muñoz JJ, Liñares-Iglesias M, Suárez-Peñaranda JM, Mayo M, Miguéns X, Rodríguez-Calvo MS, et al. Stature estimation from radiographically determined long bone length in a Spanish population sample. *J Forensic Sci* 2001;46(2):363–6.
- [15] Didia BC, Nduka EC, Adele O. Stature estimation formulae for Nigerians. *J Forensic Sci* 2009;54(1):20–1.
- [16] Auerbach BM, Ruff CB. Stature estimation formulae for indigenous North American populations. *Am J Phys Anthropol* 2009;141(2):190–207.
- [17] Sen J, Ghosh S. Estimation of stature from foot length and foot breadth among the Rajbanshi: an indigenous population of North Bengal. *Forensic Sci Int* 2008;181:55.e1–6.
- [18] Rao KV, Gupta GD, Sehgal VN. Determination of length of human upper limb long bones from their fragments. *Forensic Sci Int* 1989;41(3):219–23.
- [19] Bidmos MA. Adult stature reconstruction from the calcaneus of South Africans of European descent. *J Clin Forensic Med* 2006;13:247–52.
- [20] Bidmos MA, Asala S. Calcaneal measurement in estimation of stature of South African blacks. *Am J Phys Anthropol* 2005;126:335–42.
- [21] Bidmos MA. Metatarsals in the estimation of stature in South Africans. *J Forensic Leg Med* 2008;15:505–9.
- [22] Bidmos MA. Stature reconstruction using fragmentary femora in South Africans of European descent. *J Forensic Sci* 2008;53(5):1044–8.
- [23] Ahemad N, Purkait R. Estimation of stature from hand impression: a nonconventional approach. *J Forensic Sci* 2011;56(3):706–9.
- [24] Krishan K. Anthropometry in forensic medicine and forensic science-forensic anthropometry. *Internet J Forensic Sci* 2007;2(1). doi: 10.5580/1dce.
- [25] Krishan K. Determination of stature from foot and its segments in a North Indian population. *Am J Forensic Med Pathol* 2008;29(4):297–303.
- [26] Krishan K. Establishing correlation of footprints with body weight – forensic aspects. *Forensic Sci Int* 2008;179(1):63–96.
- [27] Krishan K, Sharma A. Estimation of stature from dimensions of hands and feet in a North Indian population. *J Forensic Leg Med* 2007;14(6):327–32.
- [28] Krishan K. Estimation of stature from footprint and foot outline dimensions in Gujjars of North India. *Forensic Sci Int* 2008;175(2–3):93–101.
- [29] Krishan K. Individualizing characteristics of footprints in Gujjars of North India – forensic aspects. *Forensic Sci Int* 2007;169(2–3):137–44.
- [30] Giles E, Vallandigham PH. Height estimation from foot and shoeprint length. *J Forensic Sci* 1991;36(4):1134–51.
- [31] Gordon CC, Buikstra JE. Linear models for the prediction of stature from foot and boot dimensions. *J Forensic Sci* 1992;37(3):771–82.
- [32] Byers S, Akoshima K, Curran B. Determination of adult stature from metatarsal length. *Am J Phys Anthropol* 1989;79:275–9.
- [33] Cordeiro C. Estimativa da estatura a partir dos metatársicos. Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra para a obtenção do Grau de Mestre em Medicina Legal 2002.
- [34] Cordeiro C, Muñoz-Barús JJ, Wasterlain S, Cunha E, Vieira DN. Predicting adult stature from metatarsal length in a Portuguese population. *Forensic Sci Int* 2009;193(1–3):131.e1–4.
- [35] De Groote I, Humphrey LT. Body mass and stature estimation based on the first metatarsal in humans. *Am J Phys Anthropol* 2011;144(4):625–32.
- [36] Rodríguez S, Miguéns X, Rodríguez-Calvo MS, Febrero-Bande M, Muñoz-Barús JJ. Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population. *Forensic Sci Int* 2013;226:297.e1–4.
- [37] Danborno B, Elukpo A. Sexual dimorphism in hand and foot length, indices, stature-ratio and relationship to height in Nigerians. *Internet J Forensic Sci* 2008;3(1). doi: 10.5580/379.
- [38] Giurazza F, Del Vecovo R, Schena E, Cazzato RL, D'Agostino F, Grasso RF, et al. Stature estimation from scapular measurements by CT scan evaluation in an Italian population. *Leg Med (Tokyo)* 2013;15:202–8.
- [39] Hishmat AM, Michue T, Sogawa N, Oritani S, Ishikawa T, Hashem MA, et al. Efficacy of automated three-dimensional image reconstruction of the femur from postmortem computed tomography data in morphometry for victim identification. *Leg Med (Tokyo)* 2014;16:114–7.
- [40] Pengfei X, Hongbo Yu, Huanchong Ch, Shunhao S, Steve S. Image fusion in craniofacial virtual reality modeling based on CT and 3dMD photogrammetry. *J Craniofac Surg* 2013;24(5):1573–6.
- [41] Fatah EEA, Shirley NR, Jantz RL, Mahfouz MR. Improving sex estimation from crania using a novel three-dimensional quantitative method. *J Forensic Sci* 2014. Feb 6. [Epub ahead of print].
- [42] Villa Ch, Hansen MN, Buckberry J, Cattaneo C, Lynnerup N. Forensic age estimation based on the trabecular bone changes of the pelvic bone using post-mortem CT. *Forensic Sci Int* 2013;233(1–3):393–402.
- [43] Garmendia AM, Gómez-Valés JA, Hernández F, Wesp JK, Sánchez-Mejorada G. Long bone (humerus, femur, tibia) measuring procedure in cadavers. *J Forensic Sci* 2014. Feb 19. [Epub ahead of print].
- [44] Macaluso PJ, Lucena J. Stature estimation from radiographic sternum length in a contemporary Spanish population. *Int J Leg Med* 2014. Feb 14. [Epub ahead of print].
- [45] Albanese J, Eklics G, Tuck A. A metric method for sex determination using the proximal femur and fragmentary hipbone. *J Forensic Sci* 2008;53(6):1283–8.
- [46] <www.r-project.org>
- [47] <http://cran.es.r-project.org/web/packages>

3º) Sonia Rodríguez, María S. Rodríguez-Calvo, Antonio González, Manuel Febrero-Bande, José I. Muñoz Barús. Estimating height from the first and second cervical vertebrae in a Spanish population. DOI:10.1016/j.legalmed.2015.08.002.

RESUMEN

Una de las funciones de la antropología forense es la identificación de restos óseos y con los años se han desarrollado muchos métodos para obtener detalles específicos de un cadáver, como la estimación de la edad y la altura. El fémur y la tibia son ideales para este propósito, pero por desgracia, a menudo están ausentes o fragmentados. Por esta razón, en el presente estudio, hemos utilizado los huesos más pequeños de la primera y segunda vértebras cervicales, que están a menudo mejor conservados que los huesos largos. La medición directa de estos huesos ha producido un error, en gran parte debido a los restos de una cubierta de tejido blando, y para superar este error, todas las mediciones fueron tomadas de imágenes tomográficas. El objetivo de este estudio es proporcionar un método de diagnóstico auxiliar para evaluar la asociación de diferentes medidas antropométricas tomadas con imágenes tomográficas, de la primera vértebra cervical y la segunda con la altura del cuerpo en una muestra de la población española.

Las mediciones se realizaron a partir de imágenes tomográficas tomadas con una TC dental de 203 individuos sanos de una población española. La mejor correlación se obtuvo en el caso de sexo desconocido utilizando cuatro mediciones: dos de la primera vértebra cervical y dos de la segunda vértebra utilizando la siguiente fórmula de regresión $S = 49,02 + 1,02O + 1,58DO + 0,49V + 0,67I$.

Todas las fórmulas proporcionan resultados estadísticamente significativos y se pueden aplicar a cualquier restos óseos perteneciente a una población española.



Estimating height from the first and second cervical vertebrae in a Spanish population

Sonia Rodríguez^{a,b}, María S. Rodríguez-Calvo^{b,c}, Antonio González^e, Manuel Febrero-Bande^d, José I. Muñoz-Barús^{b,c,*}

^a Santiago de Compostela University Hospital Complex, Spain

^b Department of Pathology and Forensic Science, University of Santiago de Compostela, Spain

^c Institute of Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, Spain

^d Department of Statistics and Operations Research, University of Santiago de Compostela, Spain

^e Department of Stomatology, University of Santiago de Compostela, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 April 2015

Received in revised form 15 July 2015

Accepted 10 August 2015

Available online xxxx

Keywords:

Forensic anthropology

Estimated stature

Cervical vertebrae

Regression formulae

Spanish population

ABSTRACT

One of the roles of forensic anthropology is the identification of skeletal remains and over the years many methods have been developed to obtain specific details of a corpse such as an estimation of age and height. The femur and tibia are ideal for this purpose but unfortunately they are often missing or badly fragmented. For this reason, in this present study, we used the smaller bones of the first and second cervical vertebrae, which are often better preserved than the long bones. Direct measurement of these bones has been found to be misleading, largely due to the remains of a covering of soft tissue, and to overcome this all measurements were taken from tomographic images. The aim of this study is to provide an auxiliary diagnostic method to evaluate the association of different anthropometric measurements taken with tomographic imagery of both the first cervical and second cervical vertebra with body height within a sample of the Spanish population.

Measurements were taken from tomographic images taken with a dental CT of 203 healthy individuals from a Spanish population. The best correlation was obtained in the case of unknown sex using four measurements: two of the first cervical vertebra and two of the second vertebra using the following regression formula $S = 49.02 + 1.020 + 1.58DO + 0.49V + 0.67I$.

All formulae provided statistically significant results and can be applied to any skeletal remains belonging to a Spanish population.

© 2015 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Forensic anthropology is a branch of forensic medicine that first and foremost attempts to determine the identity of a corpse and then, if possible, the causes, diagnosis and date of death together with all the pertinent surrounding circumstances.

In practice, forensic identification may correspond to a living subject (in cases of missing persons or the identification of fresh corpses or bodies in an advanced state of putrefaction).

There are numerous methods of using a metrical study of skeletal remains to determine chronological age, sex, body height and other characteristics which can be of help in identifying the remains. The best results are provided from the remains of long bones, especially those of the lower limbs (femur and tibia)

[1–10]. However, in most cases we do not have long bones or these are fragmented when found, whereas smaller bones, such as metatarsals, are often in a better state of preservation [11], and have been the subject of contemporary studies [12–16]. Following this line of investigation we conducted studies on the spinal column that enable the estimation of height from segments of the spinal column, namely the second cervical vertebra, sacral and coccygeal length [17–20].

Height is a basic element in constructing the biological profile and when remains are found one of the first steps in identification is to obtain the height of the individual in life [3,21–25].

It has been known since the late nineteenth century that there are slight variations between the measured height of the cadaver and height measured in vivo. The corpse is 2.5 cm less than the stature of the living person (the value depends on the time between death and the time of measurement) due to the absence of all soft and cartilaginous parts and intervertebral discs [23]. Hauser [6] mentions an elongation of 1.5 cm in males and 2 cm

* Corresponding author at: Institute of Forensic Sciences, University of Santiago de Compostela, C/San Francisco sn, 15782 Santiago de Compostela, Spain.
E-mail address: joseignacio.munoz.barus@usc.es (J.I. Muñoz-Barús).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.08.002>

1344-6223/© 2015 Elsevier Ireland Ltd. All rights reserved.

in women. This phenomenon can be explained by the fact that a recumbent body is not compressed by pressure, thus relaxing the intervertebral discs and ligaments, as well as straightening spinal curvature [3,5–7,9,21], hence the height calculated directly on the body is often corrected.

The estimation of height from bones is performed by applying regression formulae to appropriate skeletal samples [26]. The formulae are generally based on correlation coefficients between the length of the long bones and stature. However, this correlation varies widely among major racial groups, and, coupled with differences due to environment, geographical distribution, heredity, socioeconomic development, diet and type of work, it precludes the application of a general formula for all population groups; hence the use of separate regression formulae and the importance of studies in a Spanish population to create unbiased regression formulae applicable to the population under study.

Direct measurement of skeletal remains can produce an error due to the presence of soft tissue remains, and in order to avoid this radiographic methods of identification, covering a wide range of possibilities, have been widely developed. The aim of this study is to evaluate the association of different anthropometric measurements taken with tomographic imagery of both the first cervical vertebra or atlas and the axis or second cervical vertebra with body height within a sample of the Spanish population in order to provide an auxiliary diagnostic method.

To our knowledge, this is the first such study to use the axis (C1) measures to estimate stature in a sample of the Spanish population.

2. Material and methods

2.1. Sample

This work is based on a study of 203 healthy individuals from a Spanish population aged between 15 and 84 who voluntarily participated in the study. The study was approved by the ethics committee.

Any individual with a disease, deformity or bone fracture that might interfere with the measurements was excluded from the study.

All participants were measured for height in millimeters by placing the barefoot volunteer in an upright forward facing position with the back against a ruler and the determined stature was the maximum length between the vertex of the head and the heel of the foot.

2.2. Measuring the odontoids

The odontoid measurements were carried out using the CT Imagery 203 dental Image Tacs, which is somewhat new in this field, since most forensic studies presented are usually based on radiographic images.

All measurements were carried out twice by the same observer at time intervals of a sufficient length to eliminate the possibility of values recorded in the first measurement interfering with those of the second. In this way two sets of measurements were obtained and the mean of each pair of measurements was calculated and recorded in millimeters and used to estimate stature.

Images were taken with a dental CT which is a technique of computed tomography. The device has an X-ray beam cone 23.8 cm wide by 19.2 cm high, with one 360 degree turn and was set at 120 kV and mA 5. The images obtained have a field of view (FOV) of 170 mm, the resolution and scan time depends on the following protocol: resolution of 0.250 with a cycle time of 14.7 s. For image display thickness from 1 to 0.25 mm was used, being taken in all cases minimum thickness cut. Images were

exported in DICOM format and then processed with the i-CATVision™ Version 1.9.2.17 software (Copyright© 2004–2008 Imaging Sciences International, Hatfield, PA, USA). For analysis and measurement of each sample linear measurement tool in Multi Planar Reconstruction (MPR) of the software was used.

2.3. Dimensions

Measurements made on both cervical vertebrae are shown in Figs. 1–4;

(A) Measurements of the first cervical vertebra, C1:

- Height of vertebra (V) measured along the transverse plane of the atlas from the anterior to posterior tubercle (Fig. 1).
- Interforaminal length (I): measured along the transverse plane of the atlas from the outer edge of the transverse foramen to the outer edge of the contralateral transverse foramen (Fig. 2).

(B) Measurements on second cervical vertebra (C2):

- Greatest-diameter dens (DO) measured along the transverse plane of the odontoid at its widest part (Fig. 3).
- Height of the odontoid (O) measured along the sagittal plane from the top of the dens to the uppermost part of the lower formed between the anteroinferior point and the posteroinferior point of the vertebral body (Fig. 4).

2.4. Statistical methods

For statistical analysis we used the R environment, whose statistical techniques can be applied and expanded through software from which we obtained the means, standard deviations and linear regression [29]. The Application of Generalized Linear Model (GML) was done by specific software downloaded from the same environment [30].

3. Results

The sample consisted of 203 individuals: 78 males and 125 females. The male sample ($n=78$) had an average height of 1710.6 mm, with a maximum of 1950 mm and a minimum of 1530 mm. The female sample ($n=125$) had an average of 1590.4 mm, with a minimum of 1410 mm and maximum of 1800 mm. Table 1 shows the descriptive data of the sample for the four measurements.

Equations were applied to estimate stature for three scenarios, represented in three tables, depending on the sex of the individual and in cases where sex is unknown. (Tables 2–4).

The tables present the linear regression formulae to estimate height for three scenarios.

- Using C1-measures: V and I
- Using two measures of C2, DO and O
- Using the four measures: V, I, DO, and O

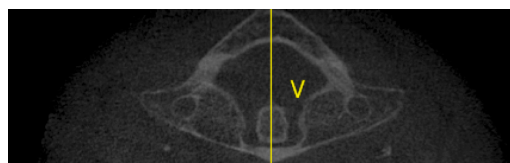


Fig. 1. Height of the vertebra (V).

Please cite this article in press as: S. Rodríguez et al., Estimating height from the first and second cervical vertebrae in a Spanish population, Leg. Med. (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.08.002>

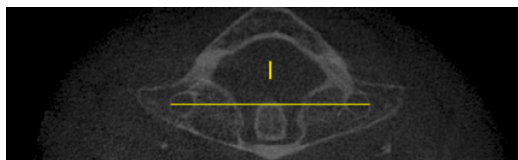


Fig. 2. Interforaminal length (I).

In the case of males, using four measures for estimating height, the formula obtained is $S = 72.47 + 0.92O + 1.28DO + 0.33V + 0.56I$. This showed the highest correlation coefficient ($R = 0.54$) and the lowest standard error ($SE = 7.21$). All equations had a value of R greater than 0.4 (see Table 2).

For the group of women, the equation with the highest coefficient of linear correlation ($R = 0.48$) and lowest standard error ($SE = 6.73$), is the formula using the four measures of both cervical $S = 75.62 + 0.85O + 1.19DO + 0.41V + 0.43I$. All results are shown in Table 3.

To develop equations for cases when sex was unknown the whole sample was used. All coefficients of determination obtained are superior to the values described for the previous cases. The highest coefficient of determination ($AdjR^2 = 0.5$) and the lowest standard error ($SE = 7.1$) was obtained with a combination of the four measures and the equation $S = 49.02 + 1.02O + 1.58DO + 0.49V + 0.67I$. Furthermore, the estimation of stature using the larger diameter of the odontoid (DO) and the height of the odontoid (O) shows the lowest coefficient of determination ($AdjR^2 = 0.39$) and a higher error ($SE = 7.84$), $S = 73.28 + 1.56 + 3.18 OD O$ (Table 4).

For the case of unknown sex we also used a Generalized Additive Models (GAM) in a similar way to that used previously in the field of legal medicine [16,28]. Using this model to estimate the height of an “unknown sex” from DO and O, we obtain the formula:

$$S = f(\vec{X}) + \varepsilon = a + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) + \varepsilon$$

The precision in this case would increase from a value of $R = 0.626$ with the linear model of Table 4 to $R = 0.642$ with the AM (Table 5).

The precision of estimation obtained with these models has been validated with 10,000 random partitions of the initial data set (in each partition 153 of the data was used as a training set, and the remaining 50 for validation) and the mean-squared error was estimated. The results in terms of mean square errors for the 10,000 replications using linear formulae for the case of unknown sex are shown in Table 6.

4. Discussion

In this study we used the linear regression model because it is the most useful and rapid for estimating stature from bone

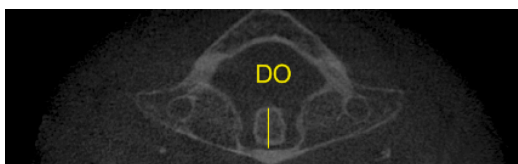


Fig. 3. Greatest diameter of odontoid process (DO).



Fig. 4. Height of the odontoid (O).

measurements. We were able to obtain various formulae for estimating stature in life using, for the first time, measurements taken from the first and second cervical vertebra, which due to their small size and structure are easier to recover.

The best results are obtained in all three groups, males, females and both sexes, using the four measures of the first and second cervical vertebra. In the formula for determining height for females the determination coefficient is slightly higher using the measurements of C2 (height and greatest diameter of odontoid) than C1. However, in the case of men both determination coefficients are identical.

In comparing both models we see that R improves slightly but although additive models may offer more flexibility and accuracy than the linear regression model, we chose the latter because of its widespread use, ease of understanding and speed calculation.

Calculation of the estimate by GAM requires a computer with an appropriate statistical package, which complicates its use. However, with this method the gains in accuracy are minimal and do not justify its use [27,28].

Previous studies have demonstrated the accuracy of estimating stature using intact long bones, but because this rarely happens, we should consider the possibility of using other smaller, but more robust bones such as vertebrae. The more frequent occurrence of these smaller bones, coupled with the poor or fragmented condition of the long bones, recommends their use for further study. The results presented in this work are equal to or, in certain situations, even better than those reported in previous studies of metatarsal [15].

The accuracy and reliability are directly related to the r values obtained and the calculated precision of the Monte Carlo method is described in the results section (Tables 3, 4 and 6). However, there is no doubt that these results are worse than those obtained with long bones. Nevertheless, although our results are similar, overall they are slightly inferior to those recently found to estimate height in a Japanese population from the three measurements of the C2, where although most of the formulae have higher values of r and refer to other dimensions [20], other values are equal or less.

Our results are also similar to those obtained from the length of the coccyx using computed tomography [17] and are equal to or better than the formulae developed from various measures of the sacrum [17,18]. Our estimates are also better than those found when the entire spine is measured by segments (a much more complex method and of less forensic interest) in the unlikely event of having the whole column [19].

In any case, this study is aimed at a Spanish population, so the formulae published here would be mandatory for studies of this group. Also noteworthy are the advantages of using CT imagery for the measurement of bone over that of direct measurement as it can eliminate the soft tissues surrounding the bone and thus provide a more accurate measurement. Also noteworthy are the advantages of using CT imagery for the measurement of bone over that of direct measurement as it can exclude the soft tissues

Table 1

Descriptive statistics of all measurements (in mm) for each group.

	Male (n = 78)				Female (n = 125)				t	d.f.	p
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD			
S	1530.00	1950.00	1710.60	8.67	1410.00	1800.00	1590.40	7.75	118.68	149.80	<0.0001
A	15.00	81.00	45.83	16.34	17.00	84.00	47.06	16.37	−0.65	163.76	0.514
O	30.01	42.00	35.17	2.51	26.00	39.00	32.70	2.29	7.84	152.25	<0.0001
V	38.50	56.25	47.06	3.26	32.76	53.55	43.35	3.14	9.23	158.89	<0.0001
DO	9.50	14.00	11.57	0.93	9.00	12.75	10.67	0.82	6.77	148.17	<0.0001
I	54.06	72.85	63.22	4.08	48.03	72.01	58.22	3.39	10.19	141.34	<0.0001

Stature (S), age (A), height of the odontoid (O), height of the vertebra (V), larger diameter of odontoid process (DO), interforaminal length (I), t-test values (t), degrees of freedom (d.f.), p values (p).

Table 2

Regression formulae for males (S in cm).

Formulae	N	R	AdjR ²	SE
$S = 95.12 + 0.63V + 0.73I$	78	0.47	0.23	7.60
$S = 101.83 + 1.16O + 2.48DO$	78	0.47	0.23	7.58
$S = 72.47 + 0.92O + 1.28DO + 0.33V + 0.56I$	78	0.54	0.30	7.21

Stature (S) in cm; height of the vertebra (V), interforaminal length (I), height of the odontoid (O), larger diameter of odontoid process (DO) in mm; R: correlation coefficient; AdjR²: adjusted determination coefficient; SE: standard error.

Table 3

Regression formulae from females (S in cm).

Formulae	N	R	AdjR ²	SE
$S = 97.05 + 0.71V + 0.53I$	125	0.41	0.17	7.05
$S = 103.41 + 1.14O + 1.73DO$	125	0.42	0.18	6.99
$S = 75.62 + 0.85O + 1.19DO + 0.41V + 0.43I$	125	0.48	0.24	6.73

Stature (S) in cm; height of the vertebra (V), interforaminal length (I), height of the odontoid (O), larger diameter of odontoid process (DO) in mm; R: correlation coefficient; AdjR²: adjusted determination coefficient; SE: standard error.

Table 4

Regression formulae for unknown sex (S in cm).

Formulae	N	R	AdjR ²	SE
$S = 67.25 + 0.92V + 0.92I$	203	0.64	0.41	7.66
$S = 76.28 + 1.56O + 3.18DO$	203	0.62	0.39	7.84
$S = 49.02 + 1.02O + 1.58DO + 0.49V + 0.67I$	203	0.70	0.50	7.10

Stature (S) in cm; height of the vertebra (V), interforaminal length (I), height of the odontoid (O), larger diameter of odontoid process (DO) in mm; R: correlation coefficient; AdjR²: adjusted determination coefficient; SE: standard error.

Table 5

Linear regression model versus additive model, R figures for unknown sex.

Models	V–I	O–DO	O–DO–V–I
Linear regression model	0.647	0.626	0.707
Additive model	0.666	0.642	0.722

Height of the vertebra (V), interforaminal length (I), height of the odontoid (O), larger diameter of odontoid process (DO).

surrounding the bone and thus provide a more accurate measurement [16,31].

We present various formulae for the reliable determination of stature using measurements from the first cervical vertebra or atlas, the second vertebra or axis or from both if present. The formulae are statistically significant and give precise results when applied to skeletal remains belonging to a Spanish population.

Table 6

Precision of the estimate obtained with the three different models. Mean square error: (10,000 (150.53)).

	Mod C1	Mod C2	Mod C1 + C2
MSE	60.74	62.96	52.75
SD (pr)	7.79	7.93	7.26

Mod C1: measures belonging to C1: height of the vertebra (V) and interforaminal length (I); Mod C2: measures belonging to C2: height of the odontoid (O) and larger diameter of odontoid process (DO); Mod C1 + C2: height of the odontoid (O), larger diameter of odontoid process (DO), height of the vertebra (V) and interforaminal length (I); MSE: mean square error; SD: standard deviation.

Acknowledgment

We would like to thank Victor Reynolds for his support.

References

- [1] M.L. Trotter, G. Gleser, Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes, *Am. J. Phys. Anthropol.* 10 (1952) 463–514.
- [2] M.L. Trotter, G. Gleser, A re-evaluation of estimation of stature based on measurements taken during life and of long bones after death, *Am. J. Phys. Anthropol.* 16 (1958) 79–123.
- [3] M.C. Mendonça, Estimation of height from the length of long bones in a Portuguese adult population, *Am. J. Phys. Anthropol.* 112 (2000) 39–48.
- [4] J.I. Muñoz, M. Linares-Iglesias, J.M. Suárez-Peñaranda, M. Mayo, X. Miguéns, M. S. Rodríguez-Calvo, L. Concheiro, Stature estimation from radiographically determined long bone length in a Spanish population sample, *J. Forensic Sci.* 46 (2) (2001) 363–366.
- [5] D. Radoinova, K. Tenekedjiev, Y. Yordanov, Stature estimation from long bone lengths in Bulgarians, *Homo, J. Comp. Hum. Biol.* 52 (3) (2002) 221–232.
- [6] R. Hauser, J. Smoliński, T. Gos, The estimation of stature on the basis of measurements of the femur, *Forensic Sci. Int.* 147 (2) (2005) 185–190.
- [7] V. Petrovečki, D. Mayer, M. Šlaus, D. Strinović, J. Škavić, Prediction of stature based on radiographic measurements of cadaver long bones: a study of the Croatian population, *J. Forensic Sci.* 52 (3) (2007) 547–552.
- [8] B.C. Didia, E.C. Nduka, O. Adele, Stature estimation formulae for Nigerians, *J. Forensic Sci.* 54 (1) (2009) 20–21.
- [9] I. Hasegawa, K. Uenishi, T. Fukunaga, R. Kimura, M. Osawa, Stature estimation formulae from radiographically determined limb bone length in a modern Japanese population, *Leg. Med.* 11 (6) (2009) 260–266.
- [10] B.M. Auerbach, C.B. Ruff, Stature estimation formulae for indigenous North American populations, *Am. J. Phys. Anthropol.* 141 (2) (2009) 190–207.
- [11] S. Byers, K. Akoshima, B. Curran, Determination of adult stature from metatarsal length, *Am. J. Phys. Anthropol.* 79 (1989) 275–279.
- [12] M.A. Bidmos, Stature reconstruction using fragmentary femora in South Africans of European descent, *J. Forensic Sci.* 53 (5) (2008) 1044–1048.
- [13] C. Cordeiro, J.I. Muñoz-Barús, S. Wasterlain, E. Cunha, D.N. Vieira, Predicting adult stature from metatarsal length in a Portuguese population, *Forensic Sci. Int.* 193 (1–3) (2009) 131.e1–131.e4.
- [14] I. De Groote, L.T. Humphrey, Body mass and stature estimation based on the first metatarsal in humans, *Am. J. Phys. Anthropol.* 144 (4) (2011) 625–632.
- [15] S. Rodríguez, X. Miguéns, M.S. Rodríguez-Calvo, M. Febrero-Bande, J.I. Muñoz-Barús, Estimating adult stature from radiographically determined metatarsal length in a Spanish population, *Forensic Sci. Int.* 226 (2013) 297.e1–297.e4.
- [16] A. Pablos, A. Gómez-Olivencia, A. García-Pérez, I. Martínez, C. Lorenzo, J.L. Arsuaga, From toe to head: use of robust regression methods in stature estimation based on foot remains, *Forensic Sci. Int.* 226 (1–3) (2013) 299.e1–299.e7.
- [17] S. Torimitsu, Y. Makino, H. Saitoh, N. Ishii, M. Hayakawa, D. Yajima, G. Inokuchi, A. Motomura, F. Chiba, H. Iwase, Stature estimation in Japanese

Please cite this article in press as: S. Rodríguez et al., Estimating height from the first and second cervical vertebrae in a Spanish population, *Leg. Med.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.08.002>

- cadavers using the sacral and coccygeal length measured with multidetector computed tomography, *Leg. Med. (Tokyo)* 16 (1) (2014 Jan) 14–19.
- [18] M. Pininski, D. Brits, Estimating stature in South African populations using various measures of the sacrum, *Forensic Sci. Int.* 234 (2014 Jan) 182.e1–182.e7.
- [19] K.R. Nagesh, Pradeep Kumar G. Estimation of stature from vertebral column length in South Indians, *Leg. Med. (Tokyo)* 8 (5) (2006 Oct) 269–272.
- [20] T. Suguru, M. Yohsuke, S. Hisako, S. Ayaka, I. Namiko, H. Mutsumi, I. Go, M. Ayumi, C. Fumiko, H. Yumi, I. Hirotaro, Stature estimation in Japanese cadavers based on the second cervical vertebra measured using multidetector computed tomography, *Leg. Med.* 17 (3) (2015) 145–149.
- [21] G. Zeybek, I. Ergur, Z. Demiroglu, Stature and gender estimation using foot measurements, *Forensic Sci. Int.* 181 (2008) 54.e1–54.e5.
- [22] J. Rich, D.E. Dean, R.H. Powers, *Forensic Medicine of the Lower Extremity: Human Identification and Trauma Analysis of the Thigh, Leg and Foot*, 1a Ed., 69–98, Humana Press, 2005, pp. 113–237.
- [23] J. Payne-James, R. Byard, T. Corey, C. Henderson, *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine*, 1st Ed., Elsevier, 2005, pp. 100–105.
- [24] K. Chibba, M.A. Bidmos, Using tibia fragments from South Africans of European descent to estimate maximum tibia length and stature, *Forensic Sci. Int.* 169 (2–3) (2007) 145–151.
- [25] B.J. Adams, N.P. Herrmann, Estimation of living stature from selected anthropometric (soft tissue) measurements: applications for forensic anthropology, *J. Forensic Sci.* 54 (4) (2009) 753–760.
- [26] V. Formicola, Stature reconstruction from long bones in ancient population samples: an approach to the problem of its reliability, *Am. J. Phys. Anthropol.* 90 (3) (1993) 351–358.
- [27] J.I. Muñoz-Barús, M.S. Rodríguez-Calvo, J.M. Suárez-Peñaranda, D.N. Vieira, C. Cadarso-Suárez, M. Febrero-Bande, PMICALC: an R code-based software for estimating post-mortem interval (PMI) compatible with Windows, Mac and Linux operating systems, *Forensic Sci. Int.* 194 (2010) 49–52.
- [28] J.I. Muñoz-Barús, M. Febrero-Bande, C. Cadarso-Suárez, Flexible regression models for estimating postmortem interval (PMI) in forensic medicine, *Stat. Med.* 27 (2008) 5026–5038.
- [29] <www.r-project.org>.
- [30] <http://cran.es.rproject.org/web/packages>.
- [31] S. Rodríguez, A. González, A. Simón, M.S. Rodríguez-Calvo, M. Febrero-Bande, C. Cordeiro, J.I. Muñoz-Barús, The use of computerized tomography in determining stature and sex from metatarsal bones, in: *Leg. Med.* 16 (5) (2014) 252–257.



ANEXO II



1º) TABLAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA A PARTIR DE DIMENSIONES DE HUESOS LARGOS.

Tabla 27. Tablas de Manouvrier [134] tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional francesa.

Talla	Fémur	Tibia	Peroné	Húmero	Radio	Cúbito
(m)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
HOMBRES						
1.530	392	319	318	295	213	227
1.552	398	324	323	298	216	231
1.571	404	330	328	302	219	235
1.590	410	335	333	306	222	239
1.605	416	340	338	309	225	243
1.625	422	346	344	313	229	246
1.634	428	351	349	316	232	249
1.644	434	357	353	320	236	253
1.654	440	362	358	324	239	257
1.666	446	368	363	328	243	260
1.686	460	378	373	336	249	266
1.697	467	383	378	340	252	270
1.716	475	389	383	344	255	273
1.730	482	394	388	348	258	276
1.754	490	400	393	352	261	280
1.767	497	405	398	356	264	283
1.785	504	410	403	360	267	287
1.812	512	415	408	364	270	290
1.830	519	420	413	368	273	293
MUJERES						
1.400	363	284	283	263	193	203
1.420	368	289	288	266	195	206
1.440	373	294	293	270	197	209
1.455	378	299	298	273	199	212
1.470	383	304	303	276	201	215
1.480	388	309	307	279	203	217
1.497	393	314	311	282	205	219
1.513	398	319	316	285	207	222
1.528	403	324	320	289	209	225
1.543	408	329	325	292	211	228
1.556	415	334	330	297	214	231
1.568	422	340	336	302	218	235
1.582	429	346	341	307	222	239
1.595	436	352	346	313	226	243
1.612	443	358	351	318	230	247
1.630	450	364	356	324	234	251
1.650	457	370	361	329	238	255
1.670	464	376	366	334	242	258
1.692	471	382	371	339	246	261
1.715	478	388	376	344	250	264

Tabla 28. Tabla de Telkkä [167] para hombres. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional finlandesa.

Talla	Fémur	Tibia	Peroné	Húmero	Radio	Cúbito
(cm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
155	387	293	303	278	185	186
156	391	298	307	281	188	182
157	396	302	311	285	191	189
158	401	307	315	288	194	195
159	406	312	319	292	197	198
160	410	317	323	296	199	202
161	415	322	327	299	202	205
162	420	327	331	303	205	208
163	425	332	335	306	208	211
164	430	336	339	310	211	214
165	434	341	343	313	214	217
166	439	346	348	317	217	220
167	444	350	352	320	220	224
168	448	355	356	324	223	227
169	453	360	360	328	226	230
170	458	365	364	331	229	233
171	463	370	368	335	232	236
172	468	375	372	338	235	239
173	472	379	376	342	238	242
174	477	384	380	346	241	245
175	482	389	384	349	244	249
176	487	394	388	353	246	252
177	492	398	392	356	249	255
178	496	403	396	360	252	258
179	501	408	400	363	255	261
180	506	412	404	367	258	264
181	511	417	408	371	261	267
182	515	422	412	374	264	270
183	520	426	416	378	267	274
184	525	431	420	381	270	277
185	529	435	424	385	273	280

Tabla 29. Tabla de Telkkä [167] para mujeres. Tomada de Reverte [17]. Muestra poblacional finlandesa.

Talla	Fémur	Tibia	Peroné	Húmero	Radio	Cúbito
(cm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
145	352	268	276	263	170	177
146	357	274	280	267	173	180
147	363	280	284	271	176	183
148	369	285	289	274	180	186
149	375	290	293	278	183	189
150	380	295	298	282	186	192
151	386	300	302	285	189	195
152	392	306	306	289	192	198
153	397	311	311	293	196	202
154	403	316	315	297	199	205
155	408	321	320	300	202	208
156	414	327	324	304	205	211
157	419	332	328	308	209	214
158	425	337	332	312	212	217
159	430	343	337	315	215	220
160	436	348	341	319	218	223
161	441	353	345	323	222	226
162	447	358	350	326	225	229
163	453	364	354	330	228	232
164	458	369	358	334	231	235
165	463	374	363	337	235	238
166	469	380	367	341	238	241
167	474	385	372	345	241	244
168	480	390	376	348	244	247
169	485	395	381	352	247	250
170	491	400	385	356	251	253
171	496	405	389	360	254	256
172	502	411	394	362	257	259
173	508	416	398	367	260	262
174	513	421	403	371	264	265
175	518	426	407	374	267	268

Tabla 30. Fórmulas de regresión de Telkkä [167] para ambos sexos. Tomada de Reverte [17]. Muestra poblacional finlandesa.

HOMBRES	MUJERES
$T = 169.4 + 2.8 (H - 32.9) \pm 5.0 \text{ cm}$	$T = 156,8 + 2,7 (H - 30,7) \pm 3.9 \text{ cm}$
$T = 169.4 + 3.4 (R - 22.7) \pm 5.0 \text{ cm}$	$T = 156,8 + 3,1 (R - 20,8) \pm 4.5 \text{ cm}$
$T = 169.4 + 3.2 (C - 23.1) \pm 5.2 \text{ cm}$	$T = 156,8 + 3,3 (C - 21,3) \pm 4.4 \text{ cm}$
$T = 169.4 + 2.1 (F - 45.5) \pm 4.9 \text{ cm}$	$T = 156,8 + 1,8 (F - 41,8) \pm 4.0 \text{ cm}$
$T = 169.4 + 2.1 (T - 36.2) \pm 4.6 \text{ cm}$	$T = 156,8 + 1,9 (T - 33,1) \pm 4.6 \text{ cm}$
$T = 169.4 + 2.5 (P - 36.1) \pm 4.4 \text{ cm}$	$T = 156,8 + 2,3 (P - 32,7) \pm 4.5 \text{ cm}$

T: talla (en cm.); H: Húmero; R: Radio; F: Fémur (longitud máxima); T: Tibia; P: Peroné; C: Cúbito

Tabla 31. Fórmulas de regresión de Trotter y Gleser para ambos sexos [120]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional americana.

HOMBRE	
CAUCÁSICO	NEGROIDE
$E = 1.30 (F + T) + 63.29 \pm 2.99$	$E = 1.15 + (F + T) + 71.04 \pm 3.53$
$E = 3.08 H + 70.45 \pm 4.05$	$E = 3.26 H + 62.1 \pm 4.45$
$E = 3.78 R + 79.01 \pm 4.32$	$E = 3.42 R + 81.56 \pm 4.30$
$E = 3.70 C + 74.05 \pm 4.32$	$E = 3.26 C + 79.29 \pm 4.42$
$E = 2.38 F + 61.41 \pm 3.27$	$E = 2.11 F + 70.35 \pm 3.78$
$E = 2.52 T + 78.62 \pm 3.37$	$E = 2.19 T + 86.02 \pm 3.78$
$E = 2.68 P + 71.78 \pm 3.29$	$E = 2.19 P + 85.65 \pm 4.08$
MONGOLOIDE	MEJICANOS
$E = 1.22 (F + T) + 70.37 \pm 3.24$	*****
$E = 2.68 H + 83.19 \pm 4.25$	$E = 2.92 H + 73.94 \pm 4.24$
$E = 3.54 R + 82.00 \pm 4.60$	$E = 3.55 R + 80.71 \pm 4.04$
$E = 3.48 C + 77.45 \pm 4.66$	$E = 3.56 C + 74.56 \pm 4.05$
$E = 2.15 F + 72.57 \pm 3.80$	$E = 2.44 F + 58.67 \pm 2.99$
$E = 2.39 T + 81.45 \pm 3.27$	$E = 2.36 T + 80.62 \pm 3.73$
$E = 2.40 P + 80.56 \pm 3.24$	$E = 2.50 P + 75.44 \pm 3.52$
<hr/>	
MUJER	
CAUCÁSICA	NEGROIDE
$E = 1.39 (F + T) + 53.20 \pm 3.55$	$E = 1.26 (F + T) + 59.72 \pm 3.28$
$E = 3.36 H + 57.97 \pm 4.45$	$E = 3.08 H + 64.67 \pm 4.25$
$E = 4.74 R + 54.93 \pm 4.24$	$E = 3.67 R + 71.79 \pm 4.59$
$E = 4.27 U + 57.76 \pm 4.30$	$E = 3.31 U + 75.38 \pm 4.83$
$E = 2.47 F + 54.10 \pm 3.72$	$E = 2.28 F + 59.76 \pm 3.41$
$E = 2.90 T + 61.53 \pm 3.66$	$E = 2.45 T + 72.65 \pm 3.70$
$E = 2.93 P + 59.61 \pm 3.57$	$E = 2.49 P + 70.10 \pm 3.80$
E : Estatura (en cm.) ; H : Húmero ; R : Radio ; F : Fémur ; T :Tibia ; P : Peroné ; C : Cúbito (Trotter, 1970) (1)	

Tabla 32. Tabla de Mendoza [145] para hombres. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional portuguesa.

VARONES			
Talla media (cm)	Húmero	Fémur	
	Longitud total (mm)	Longitud fisiológica (mm)	Longitud perpendicular (mm)
150	277	386	388
151	280	390	392
152	283	394	396
153	286	397	399
154	289	401	403
155	292	405	407
156	295	409	411
157	299	412	414
158	302	416	418
159	305	420	422
160	308	424	426
161	311	427	429
162	314	431	433
163	317	435	437
164	320	439	441
165	323	442	445
166	326	446	448
167	329	450	452
168	332	454	456
169	335	457	460
170	338	461	463
171	341	465	467
172	344	469	471
173	347	472	475
174	351	476	478
175	354	480	482
176	357	484	486
177	360	487	490
178	363	491	493
179	366	495	497
180	369	499	501
181	372	503	505
182	375	506	509
183	378	510	512
184	381	514	516
185	384	518	520
186	387	521	524
187	390	525	527
188	393	529	531
189	396	533	535
190	399	536	539

Tabla 33. Tablas de Mendoça [145] para mujeres. Tomada de Reverte [17]. Muestra poblacional portuguesa.

MUJERES			
Talla media (cm)	Húmero	Fémur	
	Longitud total (mm)	Longitud fisiológica (mm)	Longitud perpendicular (mm)
140	247	347	348
141	250	352	352
142	254	356	357
143	257	360	361
144	260	364	365
145	263	368	369
146	267	372	374
147	270	376	378
148	273	380	382
149	276	385	386
150	280	389	391
151	283	393	395
152	286	397	399
153	290	401	403
154	293	405	408
155	296	409	412
156	299	413	416
157	303	418	420
158	306	422	425
159	309	426	429
160	312	430	433
161	316	434	437
162	319	438	441
163	322	442	446
164	325	446	450
165	329	450	454
166	332	455	458
167	335	459	463
168	338	463	467
169	342	467	471
170	345	471	475
171	348	475	480
172	352	479	484
173	355	483	488
174	358	488	492
175	361	492	497
176	365	496	501
177	368	500	505
178	371	504	509
179	374	508	514
180	378	512	518

2º) FÓRMULAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA A PARTIR DE DIMENSIONES DE HUESOS PEQUEÑOS.

Tabla 34. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de dimensiones de los metacarpianos según Meadows y Jantz [154].

varones caucasoides	varones negroides	mujeres caucasoides	mujeres negroides
$1,659MI+91,77\pm5,52$	$1,659MI+89,15\pm5,52$	$1,659MI+90,02\pm5,52$	$1,659MI+85,45\pm5,52$
$1,261MII+85,51\pm5,15$	$1,261MII+81,60\pm5,15$	$1,261MII+82,52\pm5,15$	$1,261MII+76,11\pm5,15$
$1,279MIII+85,98\pm5,36$	$1,279MIII+81,61\pm5,36$	$1,279MIII+83,44\pm5,36$	$1,279MIII+76,80\pm5,36$
$1,375MIV+89,54\pm5,33$	$1,375MIV+85,44\pm5,33$	$1,375MIV+86,44\pm5,33$	$1,375MIV+81,07\pm5,33$
$1,443MV+93,16\pm5,67$	$1,443MV+89,35\pm5,67$	$1,443MV+89,95\pm5,67$	$1,443MV+84,41\pm5,67$

MI: longitud medida desde el centro de la superficie articular proximal hasta el centro del punto distal del primer metatarsiano. MII: longitud medida desde el centro de la superficie articular proximal hasta el centro del punto distal del segundo metatarsiano. MIII: longitud medida desde el centro de la superficie articular proximal hasta el centro del punto distal del tercer metatarsiano. MIV: longitud medida desde el centro de la superficie articular proximal hasta el centro del punto distal en el cuarto metatarsiano. MV: longitud medida desde el centro de la superficie articular proximal hasta el centro del punto distal del quinto metatarsiano.

Tabla 35. Fórmulas de regresión de Musgrave y Harneja para la estimación de la estatura a partir de dimensiones de los cinco metacarpianos [157].

VARONES		MUJERES	
IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO
$16,9 \text{ MI} + 94,76 \pm 5,49$	$7,5 \text{ MI} + 92,04 \pm 5,8$	$22,5 \text{ MI} + 65,62 \pm 7,21$	$11,6 \text{ MI} + 110,29 \pm 5,54$
$10,6 \text{ MII} + 100,06 \pm 5,79$	$12,4 \text{ MII} + 88,13 \pm 5,84$	$26,1 \text{ MII} + 3,1 \pm 5,58$	$13,5 \text{ MII} + 74,61 \pm 4,7$
$11,2 \text{ MIII} + 98,21 \pm 5,82$	$12,6 \text{ MIII} + 88,8 \pm 6,01$	$22,5 \text{ MIII} + 22,71 \pm 6,59$	$12,9 \text{ MIII} + 80,26 \pm 4,73$
$12,9 \text{ MIV} + 96,86 \pm 5,79$	$14,5 \text{ MIV} + 87,19 \pm 5,95$	$22,6 \text{ MIV} + 36,89 \pm 7,66$	$13,5 \text{ MIV} + 85,94 \pm 4,98$
$11,7 \text{ MV} + 109,35 \pm 6,3$	$13,6 \text{ MV} + 99,38 \pm 6,2$	$22,7 \text{ MV} + 45,97 \pm 8,14$	$15,2 \text{ MV} + 83,17 \pm 4,72$

MI: Del centro de la superficie articular al ápex de la cabeza del metacarpiano. MII: Del punto proximal, que es en la muesca, dividiendo la superficie articular en dos lados, al ápex de la cabeza. MIII: Del punto proximal en el centro del surco longitudinal al ápex de la cabeza. MIV: Del centro de la superficie proximal al ápex de la cabeza. MV: Del punto próximo-distal, en el centro de la cavidad, al ápex de la cabeza.

Tabla 36. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de dimensiones de los cinco metacarpianos según Sağır para población turca [158].

HOMBRES	MUJERES
$S = 15.997 * \text{Mc1} + 97.277$	$S = 15.997 * \text{Mc1} + 97.277$
$S = 10.839 * \text{Mc2} + 99.933$	$S = 10.839 * \text{Mc2} + 99.933$
$S = 11.578 * \text{Mc3} + 97.886$	$S = 11.578 * \text{Mc3} + 97.886$
$S = 14.107 * \text{Mc4} + 92.569$	$S = 14.107 * \text{Mc4} + 92.569$
$S = 14.415 * \text{Mc5} + 97.415$	$S = 14.415 * \text{Mc5} + 97.415$

S: estatura del individuo en cm, Mc1-Mc5: longitud máxima del metacarpiano primero al quinto en mm.

Tabla 5. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos según Cordeiro et al. [138]. Muestra poblacional portuguesa.

HOMBRES	MUJERES	SEXO DESCONOCIDO
$S = 963.949 + 11.678F1$	$S = 919.146 + 12.006F1$	$S = 887.530 + 12.826F1$
$S = 834.630 + 11.563F2$	$S = 957.350 + 9.488F2$	$S = 798.894 + 11.990F2$
$S = 865.335 + 12.317M1$	$S = 871.260 + 11.970M1$	$S = 816.157 + 13.007M1$
$S = 817.849 + 11.374M2$	$S = 961.592 + 9.117M2$	$S = 790.041 + 11.689M2$

S= Estatura en cm. F1: longitud fisiológica del primer metatarsiano. F2: longitud fisiológica del segundo metatarsiano. M1: longitud máxima del primer metatarsiano. M2: longitud máxima del segundo metatarsiano en mm.



Tabla 6. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos según Bidmos [163]. Muestra poblacional sudafricana.

<i>ISA male</i>	
1	$0.96M1 + 92.67$
2	$0.96M2 + 80.62$
3	$0.87M3 + 91.75$
4	$0.64M4 + 107.42$
5	$0.83M5_F + 102.31$
6	$0.68M5_P + 103.92$
<i>ISA female</i>	
1	$1.30M1 + 64.97$
2	$1.13M2 + 61.99$
3	$1.05M3 + 71.04$
4	$1.03M4 + 74.50$
5	$1.03M5_F + 82.43$
6	$0.69M5_P + 95.39$
<i>SAED male</i>	
1	$0.91M1 + 100.49$
2	$0.96M2 + 84.00$
3	$0.98M3 + 87.41$
4	$0.98M4 + 88.65$
5	$0.96M5_F + 97.73$
6	$0.83M5_P + 97.19$
<i>SAED female</i>	
1	$1.39M1 + 63.57$
2	$1.07M2 + 69.98$
3	$1.01M3 + 78.78$
4	$1.00M4 + 81.00$
5	$0.97M5_F + 89.89$
6	$0.74M5_P + 96.61$

<i>ISA male</i>	
1	$0.64M1 + 0.39M5_P + 85.07$
2	$0.58M1 + 0.99M2 - 0.52M4 + 79.44$
3	$0.54M1 + 0.75M2 - 0.61M4 + 0.35M5_P + 81.15$
4	$0.53M1 + 0.68M2 + 0.21M3 - 0.54M4 - 0.33M5_F + 0.43M5_P + 81.66$
<i>ISA female</i>	
1	$0.81M1 + 0.53M3 + 58.21$
2	$0.81M1 + 0.70M3 - 0.17M5_P + 58.46$
3	$0.71M1 + 0.34M2 + 0.49M3 - 0.20M5_P + 56.54$
<i>SAED male</i>	
1	$0.71M2 + 0.31M5_F + 83.69$
2	$0.58M2 + 0.31M5_F + 0.17M5_P + 81.90$
3	$0.78M2 - 0.50M4 + 0.47M5_F + 0.28M5_P + 82.61$
4	$0.02M1 + 0.87M2 - 0.29M3 - 0.35M4 + 0.49M5_F + 0.30M5_P + 82.27$
<i>SAED female</i>	
1	$0.81M1 + 0.53M2 + 60.32$
2	$0.84M1 + 0.65M2 - 0.16M5_F + 59.92$
3	$0.85M1 + 0.59M2 - 0.38M5_F + 0.22M5_P + 61.92$

ISA MALE: hombres indígenas del sur de áfrica, ISA FEMALE: mujeres indígenas del sur de áfrica, SAED MALE: hombres de descendientes del sur de áfrica, SAED FEMALE: mujeres sudafricanas de descendientes europeos, M1-M4: longitud del metatarsiano 1 a 4, M5F: longitud funcional del quinto metatarsiano, M5P: longitud fisiológica del quinto metatarsiano.

Tabla 7. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura y otras medidas a partir de diferentes medidas de metatarsianos según De Groote et al. [164]. Muestra poblacional de diferentes nacionalidades.

Femoral head diameter	
a)	$1.652 \times \text{Prox DP diameter} - 1.981$
b)	$(1.349 \times \text{Prox DP diameter}) + (0.424 \times \text{Dist ML Diameter}) - 2.578$
c)	$1.589 \times \text{Prox ML diameter} + 13.117$
d)	$1.559 \times \text{Dist DP diameter} + 12.812$
e)	$1.795 \times \text{Dist ML diameter} + 5.411$
Body mass	
a)	$3.553 \times \text{Prox DP diameter} - 37.167$
b)	$(2.900 \times \text{Prox DP diameter}) + (0.911 \times \text{Dist ML Diameter}) - 38.450$
Femoral Length all individuals	
a)	$9.870 \times \text{Prox DP diameter} + 151.759$
b)	$(5.926 \times \text{Prox DP diameter}) + (2.861 \times \text{Length}) + 90.024$
c)	$5.683 \times \text{MT length} + 84.298$
Femoral Length UK only	
a)	$8.642 \times \text{Prox DP diameter} + 184.486$
b)	$(6.089 \times \text{Prox DP diameter}) + (1.956 \times \text{Length}) + 139.046$
c)	$4.356 \times \text{MT length} + 167.807$

Femoral head diameter: diámetro de la cabeza del fémur, Body mass: masa corporal, Femoral Length all individuals: longitud del fémur de toda la muestra, femoral Length UK only, longitud femoral de la muestra inglesa, Prox DP diameter: diámetro dorso-plantar proximal, Prox ML diameter: diámetro medio lateral de la articulación proximal, Dist DP diameter: diámetro dorso-plantar de la articulación distal, Dist ML diameter: diámetro medio-lateral de la articulación distal, MT length: longitud del primer metatarsiano. Todo en mm.

Tabla 8. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de metatarsianos y otros huesos del pie según Pablos et al. [166]. Muestra poblacional Euro y Afroamericanos.

$St = 755.730 + 14.590(Mt1)$	$St = 546.998 + 6.261(Calc) + 10.142(Mt1)$
$St = 987.495 + 10.494(Mt1)$	$St = 470.699 + 6.626(Tal) + 13.056(Mt1)$
$St = 1106.539 + 9.723(Mt1)$	$St = 908.491 + 4.724(Calc) + 6.867(Mt1)$
$St = 858.359 + 14.765(Tal)$	$St = 546.335 + 11.099(Tal) + 8.118(Mt1)$
$St = 965.838 + 9.789(Calc)$	$St = 856.037 + 8.645(Calc) + 2.755(Mt4)$
$St = 829.091 + 10.409(Calc)$	$St = 425.213 + 10.480(Tal) + 8.683(Mt2)$
$St = 1109.275 + 8.194(Mt2)$	$St = 953.636 + 5.427(Tal) + 5.711(Mt2)$

St: estatura, Mt1-Mt4: longitud máxima del primer a cuarto metatarsiano, Tal: longitud máxima del astrágalo, Calc. Longitud máxima del calcáneo.

Tabla 9. Fórmulas de regresión para estimación de la estatura a partir de diferentes medidas de la segunda vértebra cervical para población japonesa según Torimitsu et al. [161].

<i>All subjects</i>	
DA	$CS = 2.86 \times DA + 52.20$
AS	$CS = 2.51 \times AS + 40.84$
DS	$CS = 1.87 \times DS + 69.93$
<i>Male subjects</i>	
DA	$CS = 1.68 \times DA + 102.17$
AS	$CS = 1.37 \times AS + 100.88$
DS	$CS = 0.92 \times DS + 122.16$
<i>Female subjects</i>	
DA	$CS = 1.50 \times DA + 83.00$
AS	$CS = 1.32 \times AS + 92.04$
DS	$CS = 2.24 \times DS + 71.91$
All subjects	$CS = 1.60 \times DA + 1.00 \times AS + 0.83 \times DS + 11.25$
Male subjects	$CS = 1.18 \times DA + 0.79 \times AS + 0.51 \times DS + 56.02$
Female subjects	$CS = 1.58 \times DA + 0.50 \times AS + 1.09 \times DS + 21.65$

CS: estatura del cadaver, DA: Longitud de la parte superior de los huecos hasta el borde antero inferior del cuerpo vertebral, AS: Longitud desde el borde antero inferior del cuerpo vertebral hasta el punto de la apófisis espinosa posterior, DS: Longitud desde la parte superior de los huecos, hasta el punto de la apófisis espinosa posterior.

3º) FÓRMULAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA A PARTIR DE SEGMENTOS ÓSEOS.

Tabla 37. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la longitud máxima del fémur a partir de uno o más de sus segmentos según Steele [172]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional caucásica y negroide estadounidense.

Masculinos caucasoides:

$$E = 0.65 F1 + 40.91 = \text{longitud máxima} \pm 2.32$$

$$E = 0.86 F2 + 22.91 = \text{longitud máxima} \pm 1.57$$

$$E = 3.66 F3 + 20.10 = \text{longitud máxima} \pm 2.84$$

$$E = 5.51 F4 + 24.66 = \text{longitud máxima} \pm 2.55$$

$$E = 1.41 F1 + 0.93 F2 + 9.51 = \text{longitud máxima} \pm 1.20$$

$$E = 1.16 F2 + 1.22 F3 + 6.01 = \text{longitud máxima} \pm 0.91$$

$$E = 0.81 F3 + 5.47 F4 + 19.05 = \text{longitud máxima} \pm 2.42$$

$$E = 1.07 F1 + 1.01 F2 + 1.06 F3 + 2.61 = \text{longitud máxima} \pm 0.48$$

$$E = 1.07 F2 + 1.12 F3 + 1.99 F4 + 1.48 = \text{longitud máxima} \pm 0.76$$

Masculinos negroides:

$$E = 0.61 F1 + 42.96 = \text{longitud máxima} \pm 2.66$$

$$E = 0.88 F2 + 22.89 = \text{longitud máxima} \pm 1.58$$

$$E = 0.70 F3 + 42.63 = \text{longitud máxima} \pm 2.40$$

$$E = 4.27 F4 + 31.08 = \text{longitud máxima} \pm 3.02$$

$$E = 1.70 F1 + 1.15 F2 + 1.46 = \text{longitud máxima} \pm 1.28$$

$$E = 1.12 F2 + 1.13 F3 + 7.92 = \text{longitud máxima} \pm 0.67$$

$$E = 1.57 F3 + 4.11 F4 + 19.89 = \text{longitud máxima} \pm 2.25$$

$$E = 1.16 F1 + 1.01 F2 + 1.01 F3 + 2.33 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.06 F2 + 1.08 F3 + 2.00 F4 + 1.75 = \text{longitud máxima} \pm 0.52$$

E: estatura, Punto 1: el punto más proximal de la cabeza del fémur, Punto 2: el punto medio en el trocánter menor, Punto 3: La extensión más proximal de la superficie poplítea en el lugar donde las líneas supracondilares medial y lateral se separan paralelamente, por debajo de la línea áspera, Punto 4: el punto más proximal de la fosa intercondilea, Punto 5: el punto más distal del cóndilo medial, F1: segmento óseo del punto1 al punto2, F2: segmento óseo del punto 2 al 3, F3: segmento óseo del punto 3 al 4, F4: segmento óseo del punto 4 al 5.

Femeninos caucasoides:

$$E = 0.62 F1 + 38.21 = \text{longitud máxima} \pm 2.15$$

$$E = 0.93 F2 + 19.05 = \text{longitud máxima} \pm 1.03$$

$$E = 3.15 F3 + 22.15 = \text{longitud máxima} \pm 2.60$$

$$E = 4.23 F4 + 27.63 = \text{longitud máxima} \pm 2.49$$

$$E = 1.04 F1 + 1.04 F2 + 8.80 = \text{longitud máxima} \pm 0.86$$

$$E = 1.17 F2 + 1.02 F3 + 6.14 = \text{longitud máxima} \pm 0.63$$

$$E = 0.89 F3 + 3.70 F4 + 23.71 = \text{longitud máxima} \pm 2.41$$

$$E = 1.04 F1 + 1.03 F2 + 1.02 F3 + 2.38 = \text{longitud máxima} \pm 0.25$$

$$E = 1.14 F2 + 0.98 F3 + 0.78 F4 + 4.49 = \text{longitud máxima} \pm 0.60$$

Femeninos negroides:

$$E = 0.54 F1 + 40.00 = \text{longitud máxima} \pm 1.95$$

$$E = 0.82 F2 + 22.38 = \text{longitud máxima} \pm 1.33$$

$$E = 4.58 F3 + 12.38 = \text{longitud máxima} \pm 2.07$$

$$E = 4.64 F4 + 27.01 = \text{longitud máxima} \pm 2.06$$

$$E = 1.44 F1 + 0.98 F2 + 7.89 = \text{longitud máxima} \pm 0.98$$

$$E = 1.09 F2 + 1.19 F3 + 7.02 = \text{longitud máxima} \pm 0.78$$

$$E = 0.88 F3 + 3.03 F4 + 26.82 = \text{longitud máxima} \pm 1.93$$

$$E = 1.18 F1 + 1.01 F2 + 1.06 F3 + 1.75 = \text{longitud máxima} \pm 0.24$$

$$E = 1.05 F2 + 1.00 F3 + 2.07 F4 + 1.93 = \text{longitud máxima} \pm 0.57$$

E: estatura, Punto 1: el punto más proximal de la cabeza del fémur, Punto 2: el punto medio en el trocánter menor, Punto 3: La extensión más proximal de la superficie poplítea en el lugar donde las líneas supracondilares medial y lateral se separan paralelamente, por debajo de la línea áspera, Punto 4: el punto más proximal de la fosa intercondilea, Punto 5: el punto más distal del cóndilo medial, F1: segmento óseo del punto1 al punto2, F2: segmento óseo del punto 2 al 3, F3: segmento óseo del punto 3 al 4, F4: segmento óseo del punto 4 al 5.

Tabla 38. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la longitud máxima de la tibia a partir de uno o más de sus segmentos según Steele [172]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional caucásica y negroide estadounidense.

Masculinos caucasoides:

$$E = 3.20 T1 + 27.48 = \text{longitud máxima} \pm 2.42$$

$$E = 4.92 T2 + 4.90 = \text{longitud máxima} \pm 2.22$$

$$E = 0.69 T3 + 26.49 = \text{longitud máxima} \pm 1.86$$

$$E = 0.63 T4 + 31.33 = \text{longitud máxima} \pm 1.98$$

$$E = 2.28 T5 + 34.46 = \text{longitud máxima} \pm 2.49$$

$$E = 1.95 T1 + 1.46 T2 + 21.71 = \text{longitud máxima} \pm 2.08$$

$$E = 1.48 T2 + 1.11 T3 + 9.71 = \text{longitud máxima} \pm 1.34$$

$$E = 1.06 T3 + 1.23 T4 + 7.96 = \text{longitud máxima} \pm 1.00$$

$$E = 1.36 T4 + 3.59 T5 + 19.04 = \text{longitud máxima} \pm 1.82$$

$$E = 1.27 T1 + 1.50 T2 + 1.05 T3 + 6.54 = \text{longitud máxima} \pm 1.24$$

$$E = 1.02 T2 + 1.08 T3 + 1.01 T4 + 3.06 = \text{longitud máxima} \pm 0.52$$

$$E = 1.00 T3 + 1.27 T4 + 1.38 T5 + 6.61 = \text{longitud máxima} \pm 0.96$$

$$E = 1.02 T1 + 1.05 T2 + 1.03 T3 + 0.98 T4 + 0.71 = \text{longitud máxima} \pm 0.26$$

$$E = 1.01 T2 + 1.03 T3 + 1.04 T4 + 1.21 T5 + 1.95 = \text{longitud máxima} \pm 0.44$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Masculinos negroides:

$$E = 2.19 T1 + 33.68 = \text{longitud máxima} \pm 2.93$$

$$E = 5.23 T2 + 4.92 = \text{longitud máxima} \pm 2.54$$

$$E = 0.66 T3 + 28.85 = \text{longitud máxima} \pm 2.24$$

$$E = 0.68 T4 + 33.21 = \text{longitud máxima} \pm 2.19$$

$$E = 3.04 T5 + 36.34 = \text{longitud máxima} \pm 2.83$$

$$E = 1.12 T1 + 1.48 T2 + 26.98 = \text{longitud máxima} \pm 2.55$$

$$E = 1.49 T2 + 1.02 T3 + 12.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.69$$

$$E = 1.00 T3 + 1.22 T4 + 9.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.15$$

$$E = 1.21 T4 + 3.08 T5 + 22.83 = \text{longitud máxima} \pm 2.14$$

$$E = 1.78 T1 + 1.38 T2 + 1.06 T3 + 6.47 = \text{longitud máxima} \pm 1.59$$

$$E = 1.08 T2 + 0.99 T3 + 1.05 T4 + 3.80 = \text{longitud máxima} \pm 0.42$$

$$E = 0.98 T3 + 1.18 T4 + 2.19 T5 + 6.82 = \text{longitud máxima} \pm 1.08$$

$$E = 1.08 T1 + 1.03 T2 + 1.01 T3 + 1.01 T4 + 0.66 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.04 T2 + 0.98 T3 + 1.03 T4 + 1.24 T5 + 2.70 = \text{longitud máxima} \pm 0.35$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Femeninos caucasoides:

$$E = 2.97 T1 + 26.43 = \text{longitud máxima} \pm 2.15$$

$$E = 0.63 T2 + 31.12 = \text{longitud máxima} \pm 1.75$$

$$E = 0.66 T3 + 24.38 = \text{longitud máxima} \pm 1.69$$

$$E = 0.70 T4 + 28.75 = \text{longitud máxima} \pm 1.60$$

$$E = 4.10 T5 + 29.48 = \text{longitud máxima} \pm 2.05$$

$$E = 0.89 T1 + 1.57 T2 + 22.94 = \text{longitud máxima} \pm 1.74$$

$$E = 1.66 T2 + 1.18 T3 + 6.10 = \text{longitud máxima} \pm 0.95$$

$$E = 1.02 T3 + 1.36 T4 + 6.74 = \text{longitud máxima} \pm 0.99$$

$$E = 1.41 T4 + 2.78 T5 + 18.92 = \text{longitud máxima} \pm 1.50$$

$$E = 0.92 T1 + 1.56 T2 + 1.18 T3 + 4.05 = \text{longitud máxima} \pm 0.91$$

$$E = 1.17 T2 + 1.07 T3 + 0.93 T4 + 2.71 = \text{longitud máxima} \pm 0.41$$

$$E = 0.96 T3 + 1.29 T4 + 1.66 T5 + 6.02 = \text{longitud máxima} \pm 0.93$$

$$E = 0.70 T1 + 1.10 T2 + 1.07 T3 + 0.91 T4 + 1.22 = \text{longitud máxima} \pm 0.34$$

$$E = 1.12 T2 + 1.04 T3 + 0.91 T4 + 0.75 T5 + 2.55 = \text{longitud máxima} \pm 0.39$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Femeninos negroides:

$$E = 1.73 T1 + 32.03 = \text{longitud máxima} \pm 2.08$$

$$E = 5.96 T2 + 5.33 = \text{longitud máxima} \pm 1.70$$

$$E = 0.55 T3 + 27.33 = \text{longitud máxima} \pm 1.76$$

$$E = 0.56 T4 + 31.60 = \text{longitud máxima} \pm 1.76$$

$$E = 8.60 T5 + 25.16 = \text{longitud máxima} \pm 2.10$$

$$E = 0.34 T1 + 1.32 T2 + 27.85 = \text{longitud máxima} \pm 1.71$$

$$E = 1.55 T2 + 0.88 T3 + 12.08 = \text{longitud máxima} \pm 1.02$$

$$E = 0.96 T3 + 1.35 T4 + 7.48 = \text{longitud máxima} \pm 0.98$$

$$E = 1.10 T4 + 2.23 T5 + 23.48 = \text{longitud máxima} \pm 1.73$$

$$E = 0.41 T1 + 1.52 T2 + 0.88 T3 + 11.11 = \text{longitud máxima} \pm 1.02$$

$$E = 1.05 T2 + 0.99 T3 + 0.95 T4 + 4.36 = \text{longitud máxima} \pm 0.42$$

$$E = 0.95 T3 + 1.38 T4 + 1.48 T5 + 5.45 = \text{longitud máxima} \pm 0.96$$

$$E = 1.03 T1 + 0.93 T2 + 1.00 T3 + 1.03 T4 + 1.26 = \text{longitud máxima} \pm 0.23$$

$$E = 1.06 T2 + 0.98 T3 + 0.98 T4 + 1.57 T5 + 2.19 = \text{longitud máxima} \pm 0.34$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Masculinos negroides:

$$E = 2.19 T1 + 33.68 = \text{longitud máxima} \pm 2.93$$

$$E = 5.23 T2 + 4.92 = \text{longitud máxima} \pm 2.54$$

$$E = 0.66 T3 + 28.85 = \text{longitud máxima} \pm 2.24$$

$$E = 0.68 T4 + 33.21 = \text{longitud máxima} \pm 2.19$$

$$E = 3.04 T5 + 36.34 = \text{longitud máxima} \pm 2.83$$

$$E = 1.12 T1 + 1.48 T2 + 26.98 = \text{longitud máxima} \pm 2.55$$

$$E = 1.49 T2 + 1.02 T3 + 12.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.69$$

$$E = 1.00 T3 + 1.22 T4 + 9.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.15$$

$$E = 1.21 T4 + 3.08 T5 + 22.83 = \text{longitud máxima} \pm 2.14$$

$$E = 1.78 T1 + 1.38 T2 + 1.06 T3 + 6.47 = \text{longitud máxima} \pm 1.59$$

$$E = 1.08 T2 + 0.99 T3 + 1.05 T4 + 3.80 = \text{longitud máxima} \pm 0.42$$

$$E = 0.98 T3 + 1.18 T4 + 2.19 T5 + 6.82 = \text{longitud máxima} \pm 1.08$$

$$E = 1.08 T1 + 1.03 T2 + 1.01 T3 + 1.01 T4 + 0.66 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.04 T2 + 0.98 T3 + 1.03 T4 + 1.24 T5 + 2.70 = \text{longitud máxima} \pm 0.35$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Masculinos negroides:

$$E = 2.19 T1 + 33.68 = \text{longitud máxima} \pm 2.93$$

$$E = 5.23 T2 + 4.92 = \text{longitud máxima} \pm 2.54$$

$$E = 0.66 T3 + 28.85 = \text{longitud máxima} \pm 2.24$$

$$E = 0.68 T4 + 33.21 = \text{longitud máxima} \pm 2.19$$

$$E = 3.04 T5 + 36.34 = \text{longitud máxima} \pm 2.83$$

$$E = 1.12 T1 + 1.48 T2 + 26.98 = \text{longitud máxima} \pm 2.55$$

$$E = 1.49 T2 + 1.02 T3 + 12.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.69$$

$$E = 1.00 T3 + 1.22 T4 + 9.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.15$$

$$E = 1.21 T4 + 3.08 T5 + 22.83 = \text{longitud máxima} \pm 2.14$$

$$E = 1.78 T1 + 1.38 T2 + 1.06 T3 + 6.47 = \text{longitud máxima} \pm 1.59$$

$$E = 1.08 T2 + 0.99 T3 + 1.05 T4 + 3.80 = \text{longitud máxima} \pm 0.42$$

$$E = 0.98 T3 + 1.18 T4 + 2.19 T5 + 6.82 = \text{longitud máxima} \pm 1.08$$

$$E = 1.08 T1 + 1.03 T2 + 1.01 T3 + 1.01 T4 + 0.66 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.04 T2 + 0.98 T3 + 1.03 T4 + 1.24 T5 + 2.70 = \text{longitud máxima} \pm 0.35$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Masculinos negroides:

$$E = 2.19 T1 + 33.68 = \text{longitud máxima} \pm 2.93$$

$$E = 5.23 T2 + 4.92 = \text{longitud máxima} \pm 2.54$$

$$E = 0.66 T3 + 28.85 = \text{longitud máxima} \pm 2.24$$

$$E = 0.68 T4 + 33.21 = \text{longitud máxima} \pm 2.19$$

$$E = 3.04 T5 + 36.34 = \text{longitud máxima} \pm 2.83$$

$$E = 1.12 T1 + 1.48 T2 + 26.98 = \text{longitud máxima} \pm 2.55$$

$$E = 1.49 T2 + 1.02 T3 + 12.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.69$$

$$E = 1.00 T3 + 1.22 T4 + 9.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.15$$

$$E = 1.21 T4 + 3.08 T5 + 22.83 = \text{longitud máxima} \pm 2.14$$

$$E = 1.78 T1 + 1.38 T2 + 1.06 T3 + 6.47 = \text{longitud máxima} \pm 1.59$$

$$E = 1.08 T2 + 0.99 T3 + 1.05 T4 + 3.80 = \text{longitud máxima} \pm 0.42$$

$$E = 0.98 T3 + 1.18 T4 + 2.19 T5 + 6.82 = \text{longitud máxima} \pm 1.08$$

$$E = 1.08 T1 + 1.03 T2 + 1.01 T3 + 1.01 T4 + 0.66 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.04 T2 + 0.98 T3 + 1.03 T4 + 1.24 T5 + 2.70 = \text{longitud máxima} \pm 0.35$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Masculinos negroides:

$$E = 2.19 T1 + 33.68 = \text{longitud máxima} \pm 2.93$$

$$E = 5.23 T2 + 4.92 = \text{longitud máxima} \pm 2.54$$

$$E = 0.66 T3 + 28.85 = \text{longitud máxima} \pm 2.24$$

$$E = 0.68 T4 + 33.21 = \text{longitud máxima} \pm 2.19$$

$$E = 3.04 T5 + 36.34 = \text{longitud máxima} \pm 2.83$$

$$E = 1.12 T1 + 1.48 T2 + 26.98 = \text{longitud máxima} \pm 2.55$$

$$E = 1.49 T2 + 1.02 T3 + 12.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.69$$

$$E = 1.00 T3 + 1.22 T4 + 9.14 = \text{longitud máxima} \pm 1.15$$

$$E = 1.21 T4 + 3.08 T5 + 22.83 = \text{longitud máxima} \pm 2.14$$

$$E = 1.78 T1 + 1.38 T2 + 1.06 T3 + 6.47 = \text{longitud máxima} \pm 1.59$$

$$E = 1.08 T2 + 0.99 T3 + 1.05 T4 + 3.80 = \text{longitud máxima} \pm 0.42$$

$$E = 0.98 T3 + 1.18 T4 + 2.19 T5 + 6.82 = \text{longitud máxima} \pm 1.08$$

$$E = 1.08 T1 + 1.03 T2 + 1.01 T3 + 1.01 T4 + 0.66 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.04 T2 + 0.98 T3 + 1.03 T4 + 1.24 T5 + 2.70 = \text{longitud máxima} \pm 0.35$$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la facies articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6.

Tabla 39. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la longitud máxima del húmero a partir de uno o más de sus segmentos según Steele [172]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional caucásica y negroide estadounidense.

Masculinos caucasoides:

$$E = 4.72 H1 + 15.20 = \text{longitud máxima} \pm 1.80$$

$$E = 0.98 H2 + 8.00 = \text{longitud máxima} \pm 0.40$$

$$E = 3.59 H3 + 25.56 = \text{longitud máxima} \pm 1.91$$

$$E = 5.33 H4 + 23.52 = \text{longitud máxima} \pm 1.73$$

$$E = 1.08 H1 + 1.09 H2 + 1.32 = \text{longitud máxima} \pm 0.29$$

$$E = 1.11 H2 + 0.82 H3 + 3.03 = \text{longitud máxima} \pm 0.34$$

$$E = 2.72 H3 + 5.49 H4 + 17.71 = \text{longitud máxima} \pm 1.59$$

$$E = 1.17 H1 + 1.04 H2 + 0.94 H3 + 0.14 = \text{longitud máxima} \pm 0.17$$

$$E = 1.04 H2 + 0.93 H3 + 1.35 H4 + 2.27 = \text{longitud máxima} \pm 0.25$$

Masculinos negroides:

$$E = 4.69 H1 + 16.27 = \text{longitud máxima} \pm 1.57$$

$$E = 0.98 H2 + 8.18 = \text{longitud máxima} \pm 0.37$$

$$E = 1.87 H3 + 30.51 = \text{longitud máxima} \pm 1.74$$

$$E = 1.16 H4 + 32.21 = \text{longitud máxima} \pm 1.00$$

$$E = 0.95 H1 + 1.01 H2 + 3.73 = \text{longitud máxima} \pm 0.28$$

$$E = 1.05 H2 + 0.71 H3 + 4.76 = \text{longitud máxima} \pm 0.31$$

$$E = 1.32 H3 + 1.55 H4 + 28.90 = \text{longitud máxima} \pm 1.74$$

$$E = 0.94 H1 + 1.00 H2 + 0.69 H3 + 2.62 = \text{longitud máxima} \pm 0.21$$

$$E = 1.05 H2 + 0.80 H3 + 0.84 H4 + 3.28 = \text{longitud máxima} \pm 0.28$$

E: estatura, Punto 1: el punto más proximal de la cabeza humeral, Punto 2: el punto más distal de la circunferencia de la cabeza humeral, Punto 3: el borde proximal de la fosa olecraniana, Punto 4: el borde distal de la fosa olecraniana, Punto 5: el punto distal de la tróclea. H1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, H2: segmento óseo de punto 2 al 3, H3: segmento óseo del punto 3 al 4, H4: segmento óseo del punto 4 al 5.

Femeninos caucasoides:

$$E = 5.50 H1 + 12.58 = \text{longitud máxima} \pm 1.60$$

$$E = 0.97 H2 + 7.57 = \text{longitud máxima} \pm 0.45$$

$$E = 4.59 H3 + 22.28 = \text{longitud máxima} \pm 1.62$$

$$E = 2.99 H4 + 25.87 = \text{longitud máxima} \pm 1.54$$

$$E = 1.66 H1 + 1.04 H2 + 0.20 = \text{longitud máxima} \pm 0.30$$

$$E = 1.04 H2 + 1.12 H3 + 3.47 = \text{longitud máxima} \pm 0.40$$

$$E = 2.60 H3 + 4.17 H4 + 19.77 = \text{longitud máxima} \pm 1.47$$

$$E = 1.53 H1 + 1.01 H2 + 0.87 H3 - 0.37 = \text{longitud máxima} \pm 0.25$$

$$E = 0.99 H2 + 1.05 H3 + 1.85 H4 + 2.16 = \text{longitud máxima} \pm 0.25$$

Femeninos negroides:

$$E = 3.70 H1 + 18.12 = \text{longitud máxima} \pm 1.30$$

$$E = 0.96 H2 + 7.35 = \text{longitud máxima} \pm 0.39$$

$$E = 3.46 H3 + 24.06 = \text{longitud máxima} \pm 1.39$$

$$E = 4.47 H4 + 23.52 = \text{longitud máxima} \pm 1.49$$

$$E = 1.40 H1 + 1.04 H2 + 1.12 = \text{longitud máxima} \pm 0.30$$

$$E = 1.07 H2 + 1.16 H3 + 2.98 = \text{longitud máxima} \pm 0.31$$

$$E = 3.29 H3 + 2.74 H4 + 20.25 = \text{longitud máxima} \pm 1.31$$

$$E = 1.25 H1 + 1.00 H2 + 1.01 H3 + 0.86 = \text{longitud máxima} \pm 0.20$$

$$E = 1.03 H2 + 1.27 H3 + 1.10 H4 + 1.88 = \text{longitud máxima} \pm 0.24$$

E: estatura, Punto 1: el punto más proximal de la cabeza humeral, Punto 2: el punto más distal de la circunferencia de la cabeza humeral, Punto 3: el borde proximal de la fosa olecraniana, Punto 4: el borde distal de la fosa olecraniana, Punto 5: el punto distal de la tróclea. H1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, H2: segmento óseo de punto 2 al 3, H3: segmento óseo del punto 3 al 4, H4: segmento óseo del punto 4 al 5.

Tabla 40. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la estatura a partir de uno o más de segmentos del fémur según Steele [172]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional caucásica y negroide estadounidense.

Masculinos caucasoides (edad media : 52,97)

$$E = 2,71 (F2) + 3,06 (F3) + 73 \pm 4,41$$

$$E = 2,89 (F1) + 2,31 (F2) + 2,62 (F3) + 63,88 \pm 3,93$$

$$E = 2,35 (F2) + 2,65 (F3) + 7,92 (F4) + 54,97 \pm 3,95$$

Masculinos negroides (edad media : 43,25)

$$E = 2,59 (F2) + 2,91 (F3) + 75,74 \pm 3,72$$

$$E = 1,20 (F1) + 2,48 (F2) + 2,78 (F3) + 69,94 \pm 3,71$$

$$E = 2,53 (F2) + 2,84 (F3) + 2,40 (F4) + 68,32 \pm 3,72$$

Femeninos caucasoides (edad media : 63,35)

$$E = 2,80 (F2) + 1,46 (F3) + 76,67 \pm 4,91$$

$$E = 2,16 (F1) + 2,50 (F2) + 1,45 (F3) + 68,86 \pm 4,81$$

$$E = 2,57 (F2) + 1,21 (F3) + 5,03 (F4) + 66,05 \pm 4,77$$

Femeninos negroides (edad media : 39,58)

$$E = 2,12 (F2) + 1,68 (F3) + 93,29 \pm 6,17$$

$$E = 3,63 (F1) + 1,86 (F2) + 1,27 (F3) + 77,15 \pm 5,80$$

$$E = 2,00 (F2) + 1,08 (F3) + 6,32 (F4) + 77,71 \pm 6,01$$

E: estatura, Punto 1: el punto más proximal de la cabeza del fémur, Punto 2: el punto medio en el trocánter menor, Punto 3: La extensión más proximal de la superficie poplítea en el lugar donde las líneas supracondilares medial y lateral se separan paralelamente, por debajo de la línea áspera, Punto 4: el punto más proximal de la fosa intercondilea, Punto 5: el punto más distal del cóndilo medial, F1: segmento óseo del punto1 al punto2, F2: segmento óseo del punto 2 al 3, F3: segmento óseo del punto 3 al 4, F4: segmento óseo del punto 4 al 5.

Tabla 41. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la estatura a partir de uno o más segmentos de la tibia según Steele [172]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional caucásica y negroide estadounidense.

Masculinos caucasoides (edad media : 52,97)
$E = 3,52 (T2) + 2,89 (T3) + 2,23 (T4) + 74,55 \pm 4,56$
$E = 2,87 (T3) + 2,96 (T4) - 0,96 (T5) + 92,36 \pm 5,45$
$E = 4,19 (T1) + 3,63 (T2) + 2,69 (T3) + 2,10 (T4) + 64,95 \pm 4,22$
$E = 3,54 (T2) + 2,96 (T3) + 2,18 (T4) - 1,56 (T5) + 75,98 \pm 4,60$
Masculinos negroides (edad media : 43,25)
$E = 2,26 (T2) + 2,22 (T3) + 3,17 (T4) + 5,86 \pm 3,88$
$E = 2,23 (T3) + 3,51 (T4) - 0,51 (T5) + 91,70 \pm 4,49$
$E = 1,79 (T1) + 2,18 (T2) + 2,25 (T3) + 3,10 (T4) + 75,87 \pm 3,88$
$E = 2,32 (T2) + 2,23 (T3) + 3,19 (T4) - 1,60 (T5) + 82,50 \pm 3,92$
Femeninos caucasoides (edad media : 63,35)
$E = 4,17 (T2) + 2,96 (T3) + 2,16 (T4) + 66,09 \pm 4,69$
$E = 2,75 (T3) + 3,65 (T4) + 1,17 (T5) + 79,92 \pm 5,69$
$E = 1,51 (T1) + 4,03 (T2) + 2,97 (T3) + 2,12 (T4) + 62,89 \pm 4,71$
$E = 4,31 (T2) + 3,05 (T3) + 2,20 (T4) - 2,34 (T5) + 66,60 \pm 4,72$
Femeninos negroides (edad media : 39,58)
$E = 2,56 (T2) + 2,21 (T3) + 1,56 (T4) + 91,91 \pm 4,59$
$E = 2,11 (T3) + 2,61 (T4) + 3,58 (T5) + 94,57 \pm 5,04$
$E = 3,60 (T1) + 2,15 (T2) + 2,26 (T3) + 1,84 (T4) + 81,11 \pm 4,46$
$E = 2,58 (T2) + 2,17 (T3) - 1,63 (T4) + 3,80 (T5) + 86,64 \pm 4,59$

E: estatura, Punto1: el punto más proximal de la eminencia intercondilea, Punto 2: el punto más proximal de la tuberosidad tibial, Punto 3: el lugar de confluencia de las líneas que se extienden desde el borde inferior de la tuberosidad, Punto 4: el lugar donde la cresta anterior de la tibia se cruza sobre el borde medial del eje por encima del maléolo medial (la medida se realiza en el punto donde la cresta se cruza con la sección medial del eje, Punto 5: el borde proximal de la *facies* articular inferior (medida desde el punto opuesto al maléolo medial), Punto 6: el punto más distal sobre el maléolo medial, T1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, T2: segmento óseo desde el punto 2 al 3, T3: segmento óseo del punto 3 al 4, T4: segmento óseo del punto 4 al 5, T5: segmento óseo del punto 5 al 6

Tabla 42. Fórmulas de regresión para la reconstrucción de la estatura partir de uno o más de los segmentos del húmero según Steele [172]. Tomadas de Reverte [17]. Muestra poblacional caucásica y negroide estadounidense.

Masculinos caucasoides (edad media : 52,97)

$$E = 3,42 (H2) + 80,94 \pm 5,31$$

$$E = 7,17 (H1) + 3,04 (H2) + 63,94 \pm 5,05$$

$$E = 3,19 (H2) + 5,97 (H3) + 74,82 \pm 5,15$$

$$E = 7,84 (H1) + 2,73 (H2) + 6,74 (H3) + 55,45 \pm 4,80$$

$$E = 2,94 (H2) + 6,34 (H3) + 4,60 (H4) + 72,54 \pm 5,14$$

Masculinos negroides (edad media : 43,25)

$$E = 3,80 (H2) + 70,68 \pm 4,94$$

$$E = 8,13 (H1) + 3,34 (H2) + 51,98 \pm 4,56$$

$$E = 3,79 (H2) + 0,69 (H3) + 69,53 \pm 5$$

$$E = 8,12 (H1) + 3,33 (H2) + 0,56 (H3) + 51,08 \pm 4,62$$

$$E = 3,76 (H2) + 1,19 (H3) + 4,54 (H4) + 61,58 \pm 5$$

Femeninos caucasoides (edad media : 63,35)

$$E = 3,87 (H2) + 66,14 \pm 5,4$$

$$E = 8,84 (H1) + 3,65 (H2) + 42,43 \pm 5,14$$

$$E = 3,77 (H2) + 3,35 (H3) + 62,59 \pm 5,42$$

$$E = 8,55 (H1) + 3,60 (H2) + 1,93 (H3) + 41,16 \pm 5,18$$

$$E = 3,44 (H2) + 2,92 (H3) + 10,84 (H4) + 54,91 \pm 5,16$$

Femeninos negroides (edad media : 39,58)

$$E = 2,95 (H2) + 89,15 \pm 4,88$$

$$E = 5,05 (H1) + 2,64 (H2) + 80,13 \pm 4,83$$

$$E = 2,75 (H2) + 3,76 (H3) + 87,08 \pm 4,85$$

$$E = 4,54 (H1) + 2,50 (H2) + 3,19 (H3) + 79,29 \pm 4,82$$

$$E = 2,66 (H2) + 4,03 (H3) + 2,83 (H4) + 84,25 \pm 4,87$$

E: estatura, Punto 1: el punto más proximal de la cabeza humeral, Punto 2: el punto más distal de la circunferencia de la cabeza humeral, Punto 3: el borde proximal de la fosa olecraniana, Punto 4: el borde distal de la fosa olecraniana, Punto 5: el punto distal de la tróclea. H1: segmento óseo desde el punto 1 al 2, H2: segmento óseo de punto 2 al 3, H3: segmento óseo del punto 3 al 4, H4: segmento óseo del punto 4 al 5.